

# Coefficients de dose après exposition interne

---

**Principales nouveautés de la CIPR, applicables aux travailleurs**  
**Avancée des travaux en cours pour l'exposition du public**

---

GT CIPR

27 Septembre 2022

ASN Montrouge

Charity 1166304 registered with the Charity Commission of England and Wales

**ICRP** INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION

**François Paquet**

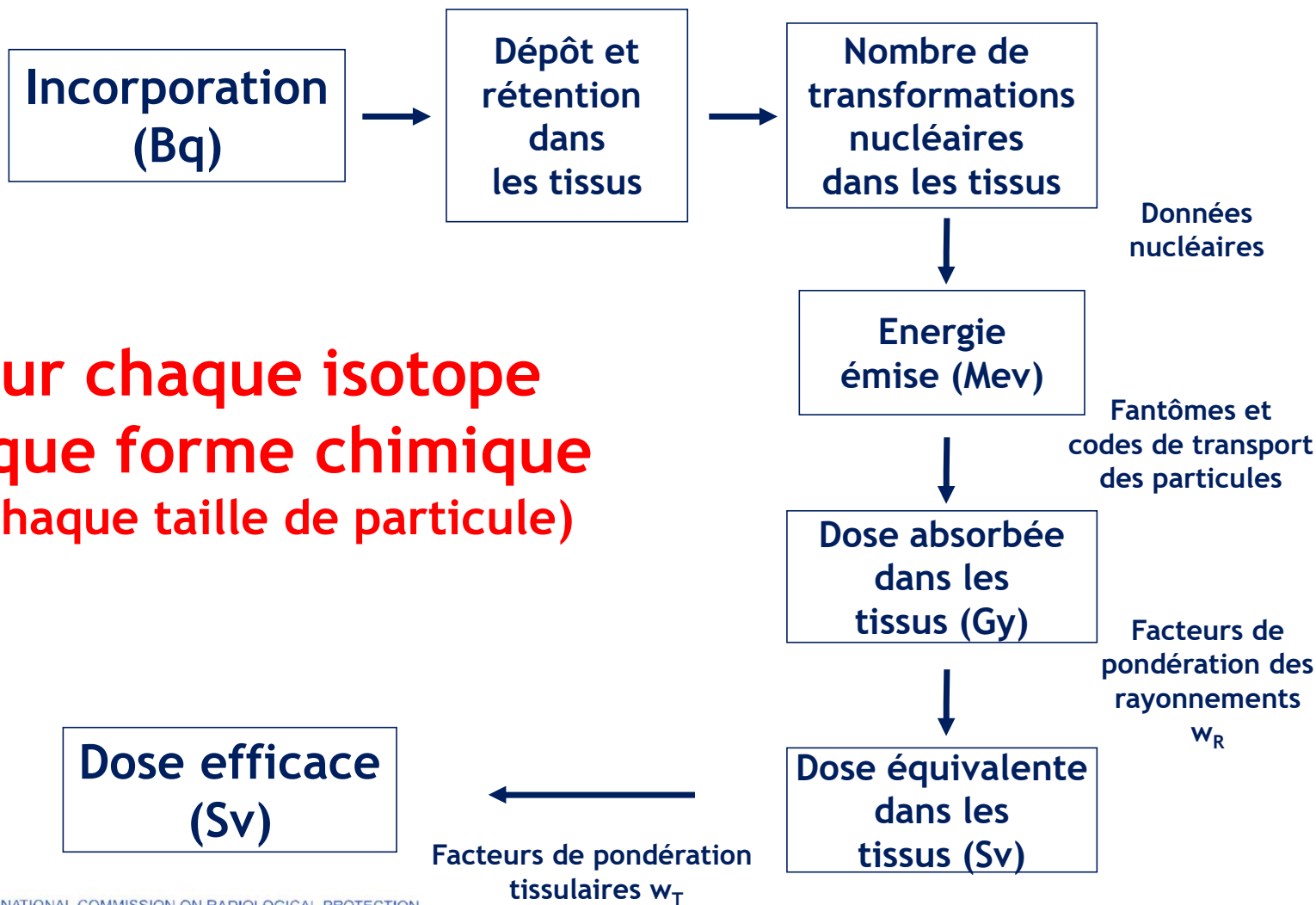
# La dose efficace engagée permet de gérer les expositions après contamination interne

$$e(\tau) = \sum_T w_T \left[ \frac{h_T^M(\tau) + h_T^F(\tau)}{2} \right]$$

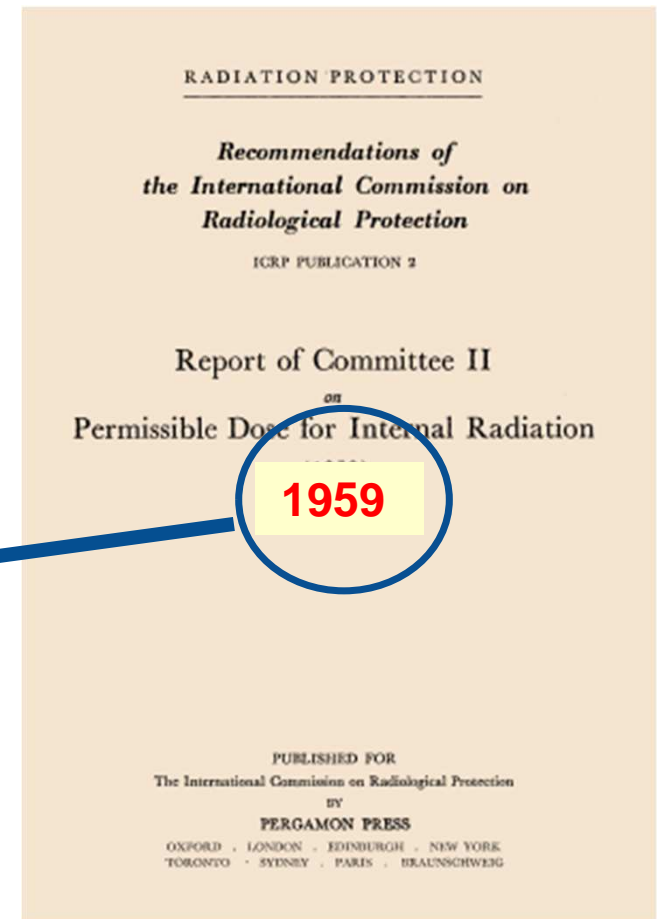
**Elle ne se mesure pas !!**

**Calculer une dose efficace engagée  
après contamination nécessite de suivre  
une procédure complexe**

**Pour chaque isotope  
chaque forme chimique  
(et chaque taille de particule)**

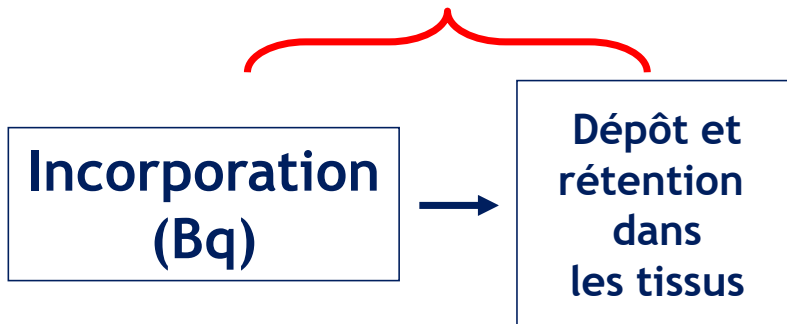


# La CIPR fournit depuis de nombreuses années des outils pour apprécier les doses résultant des contaminations internes



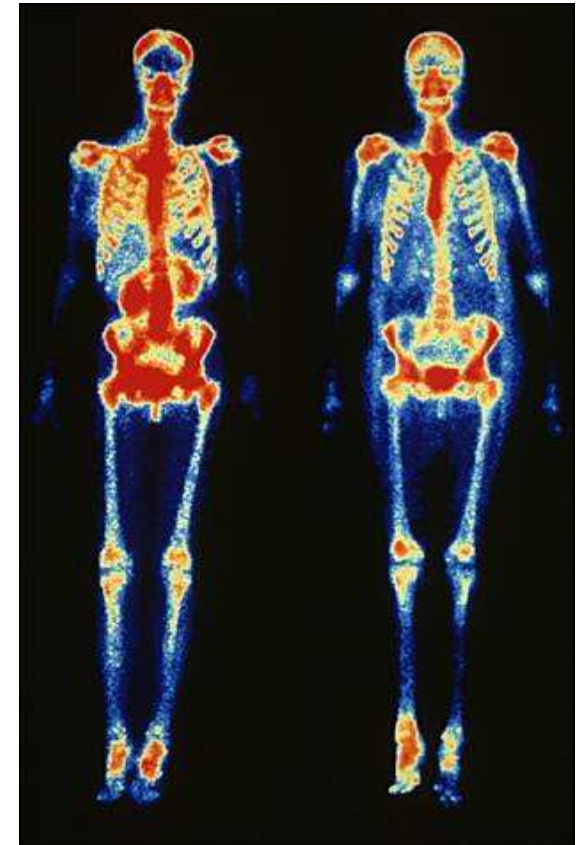
# Les outils (1)

## Modèles biocinétiques

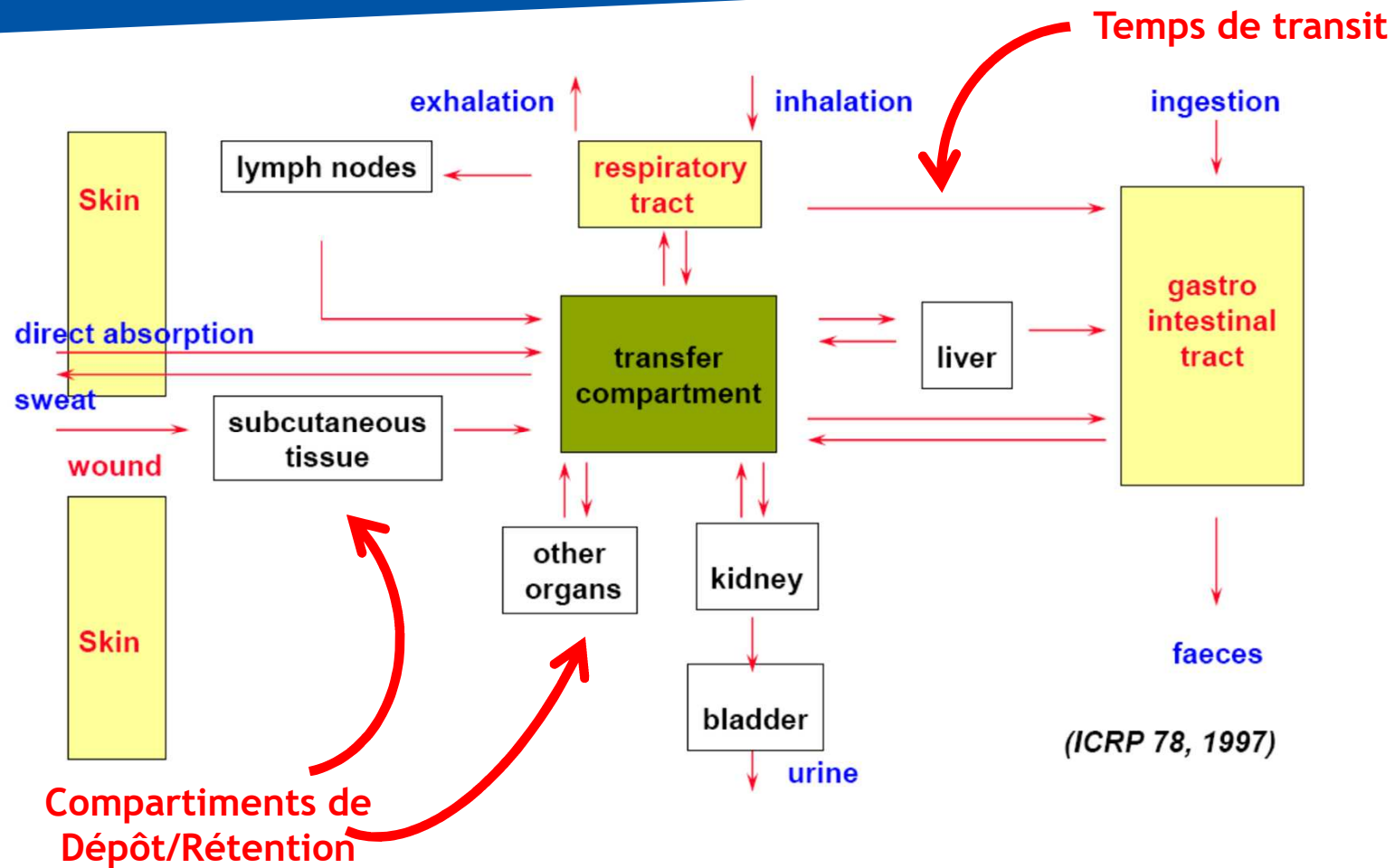


## Décrivent

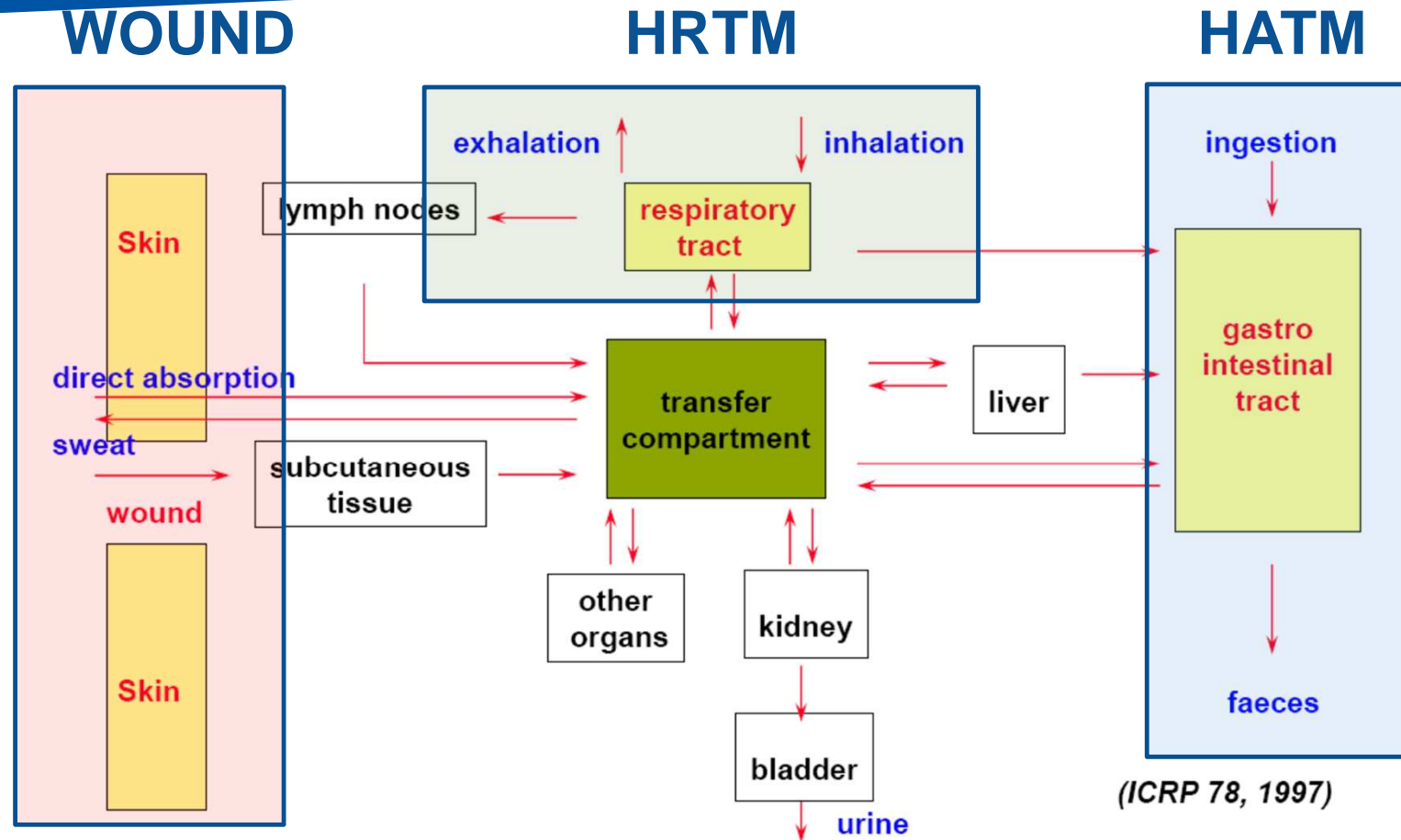
- où se déposent les RN
- combien de temps ils y restent



# Modèle biocinétique générique

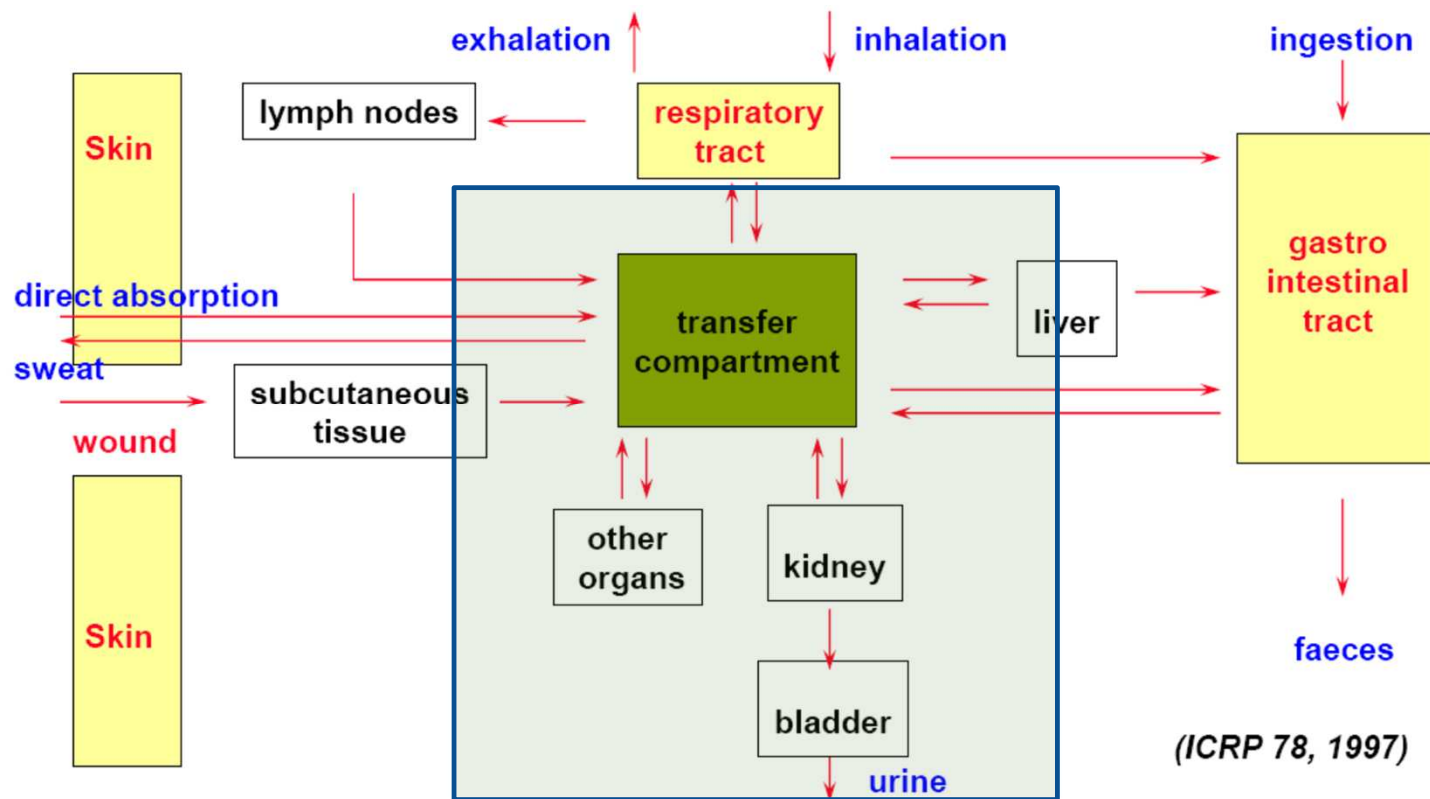


# Modèle biocinétique générique

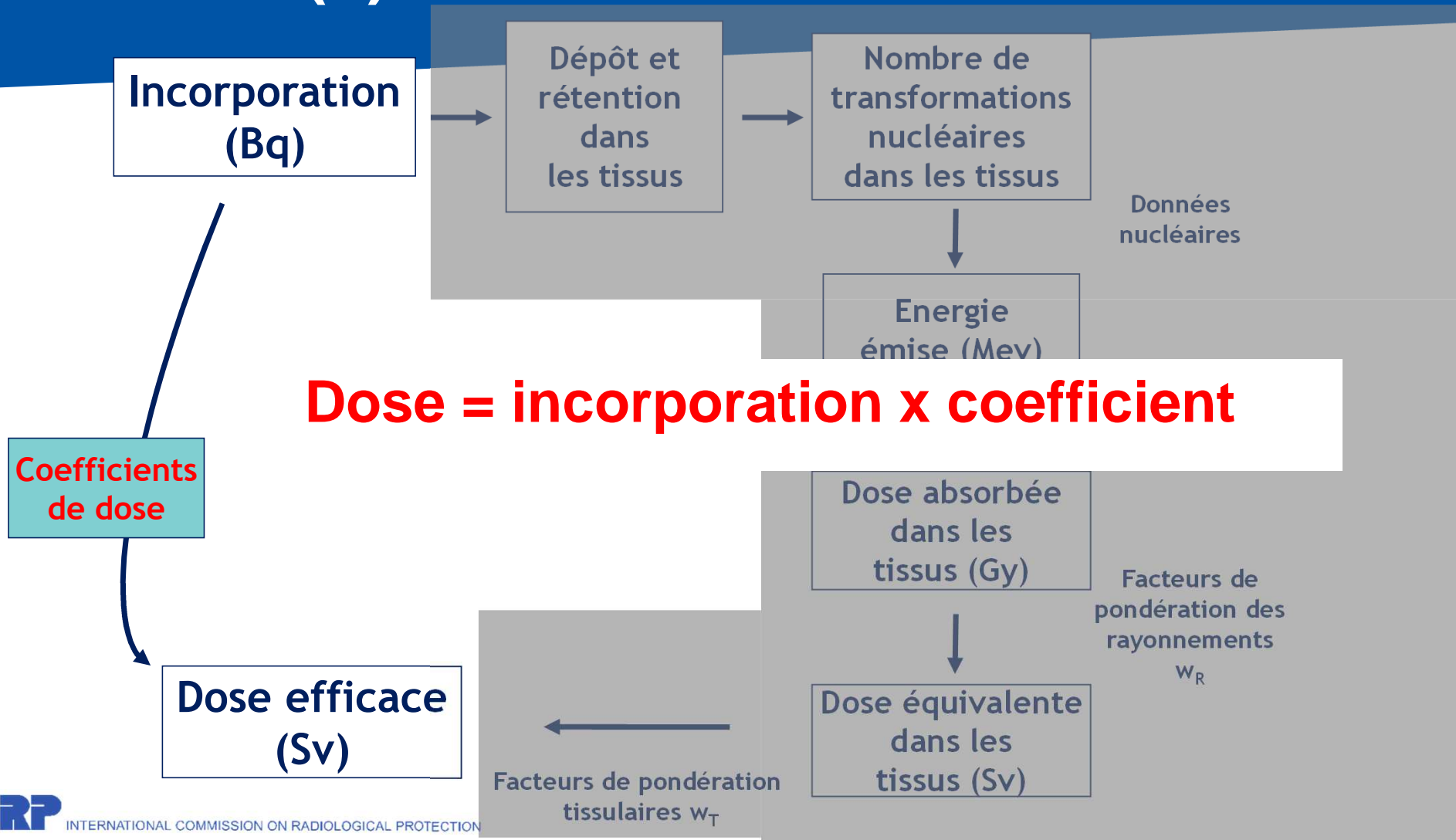




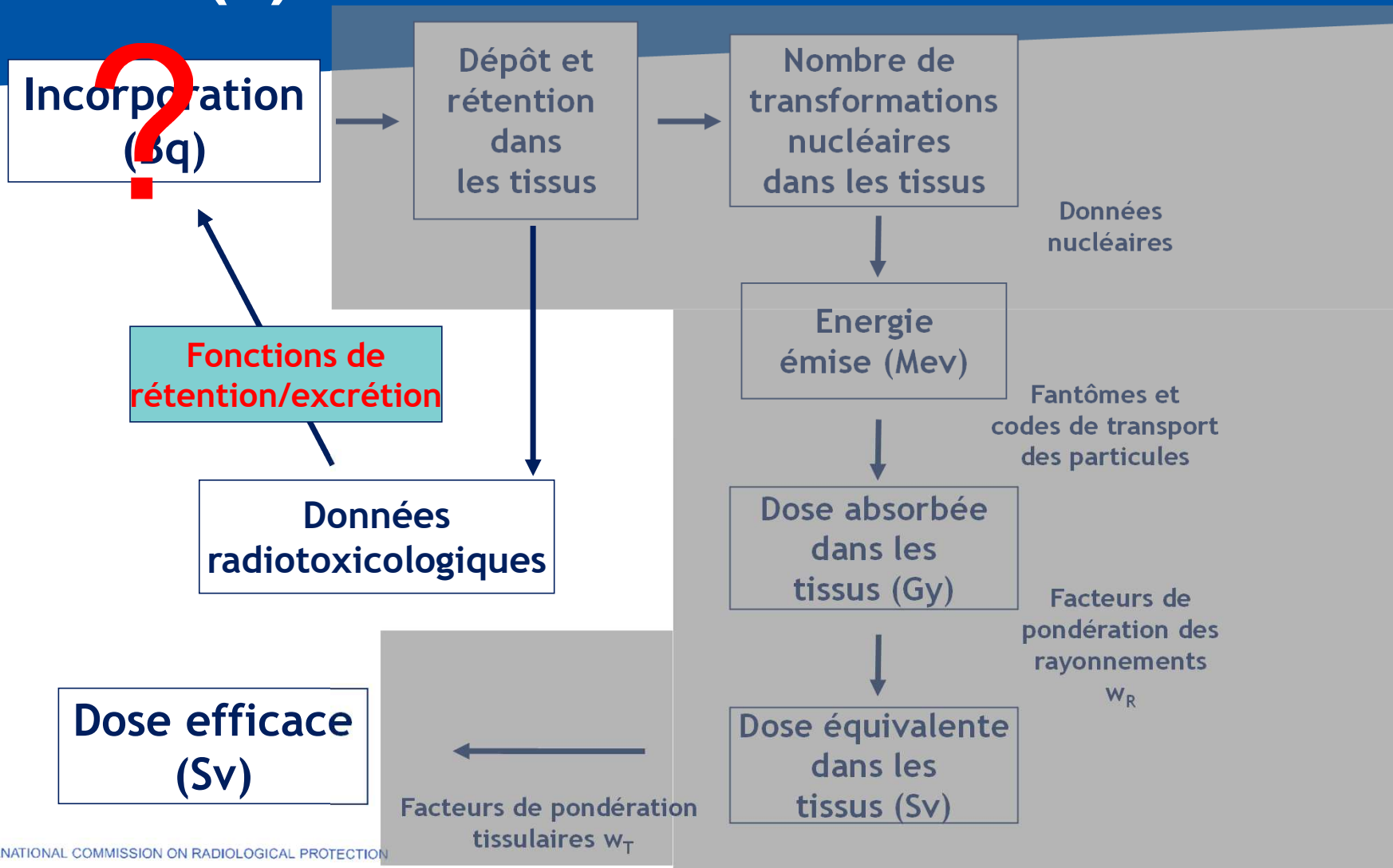
# Modèle biocinétique générique



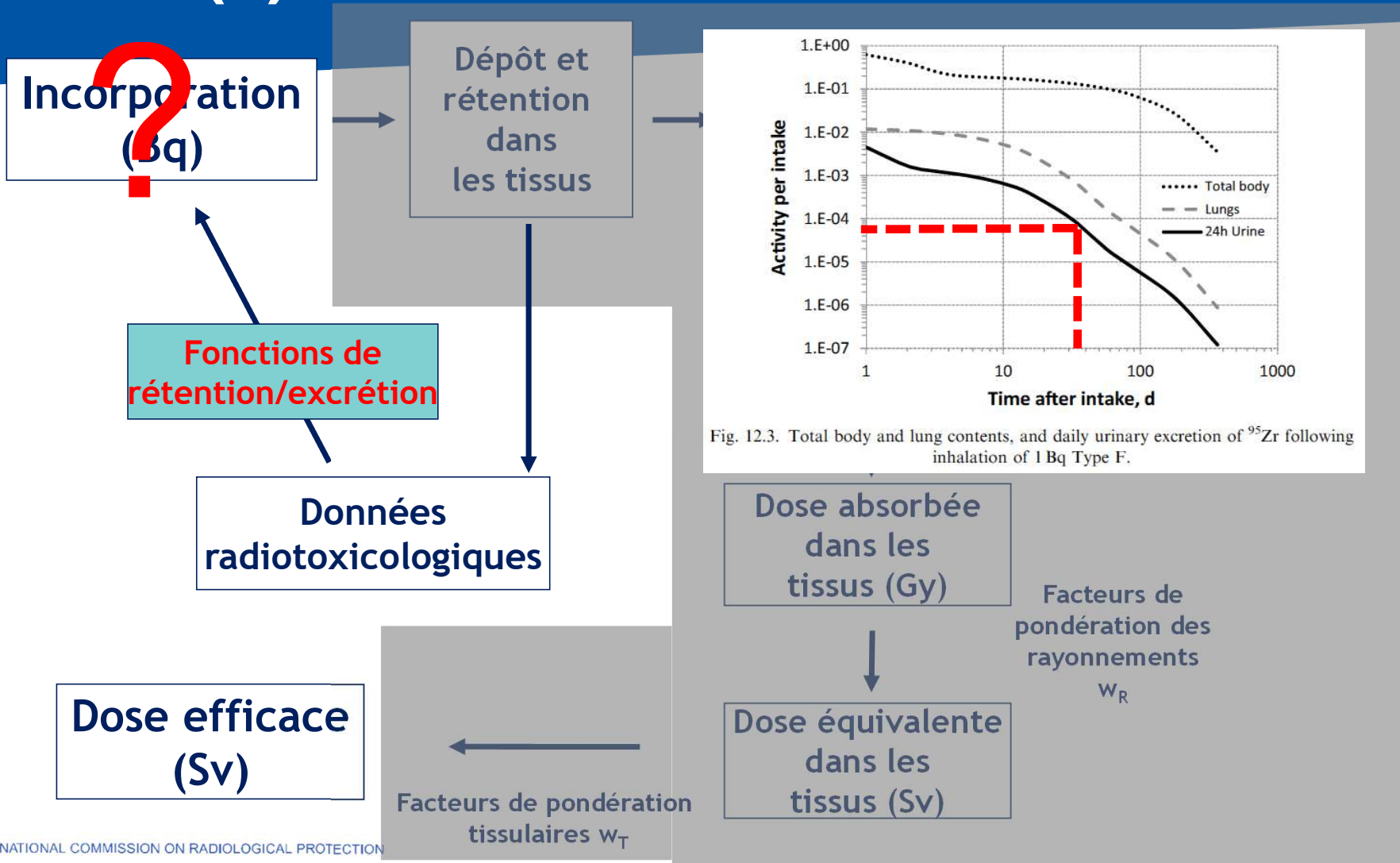
# Les outils (2)



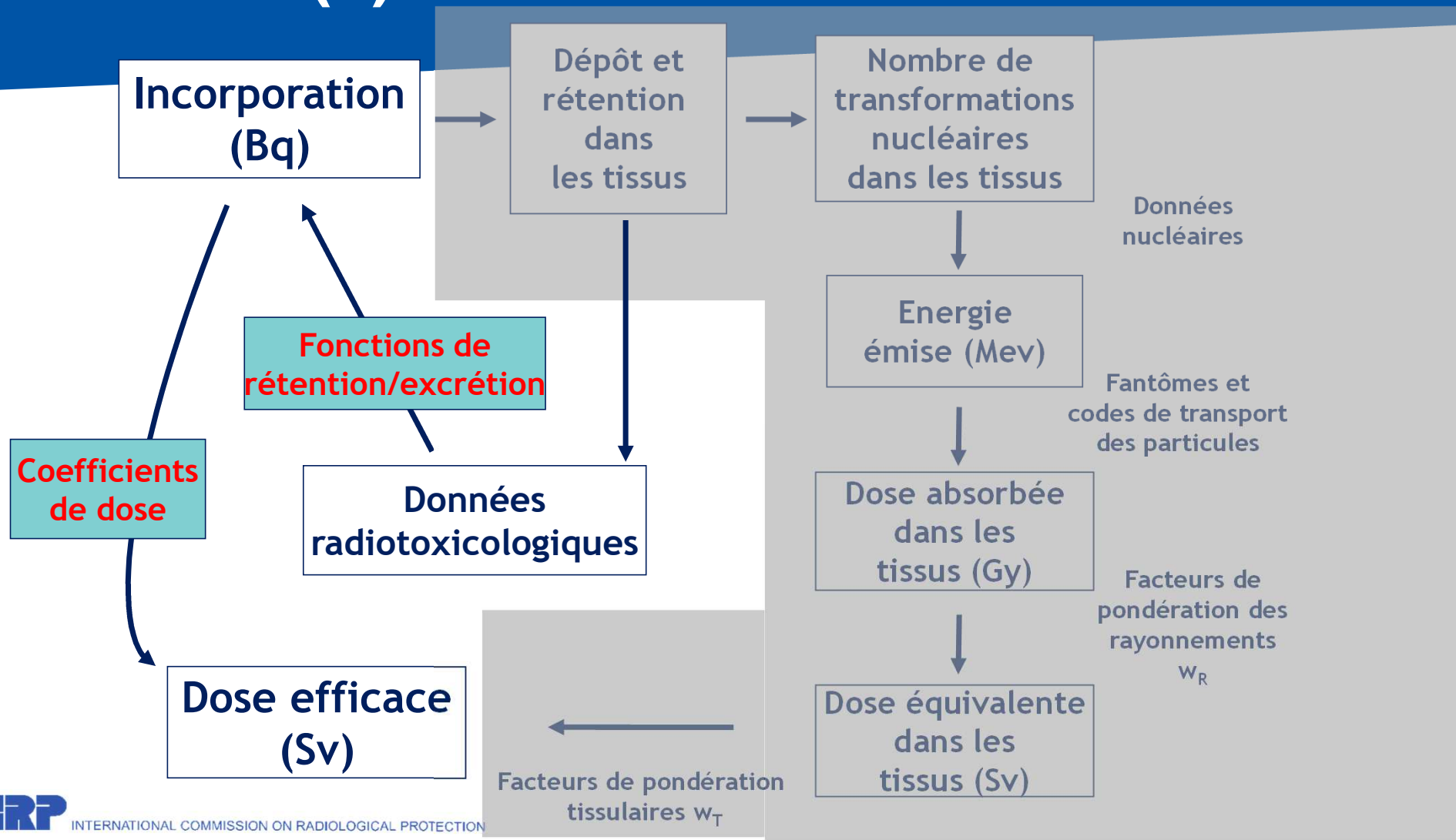
# Les outils (3)



# Les outils (3)



# Les outils (3)



# De nombreux modèles, coefficients de dose et fonctions de rétention ont été produits depuis les années 80

## *Pour les travailleurs*

*Série des Publications 30 (ICRP, 1979, 1980, 1981, 1988)*

*Publication 68 (ICRP, 1994)*

## *Pour les membres du public*

*Publications 56, 67, 69, 71 and 72 (ICRP, 1989, 1993, 1995)*

modèles age-dépendants

*Publications 88 et 95 (2001,2004)*

transferts aux embryons/foetus et aux enfants

**Ces coefficients sont toujours applicables !!**

**(arrêté du 1<sup>er</sup> Septembre 2003)**

# Des avancées notables depuis les 80s...

Nouvelles données sur  
l'homme de référence

Nouvelles données sur la  
dosimétrie du squelette

Gestion du radon selon une approche dosimétrique

Nouveaux modèles  
systémiques

Nouvelles données en  
faveur  
d'une MAJ du HRTM

Développement de nouveaux  
fantômes de référence

Human Alimentary Tract  
Model

Changements dans les facteurs de  
pondération

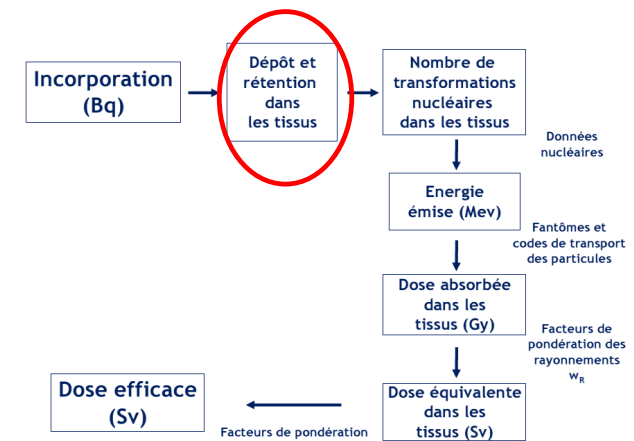
Révision des données de  
décroissance radioactive

Changements dans le  
mode  
de calcul de la dose  
efficace

Nouvelles données sur le  
comportement des  
produits de filiation

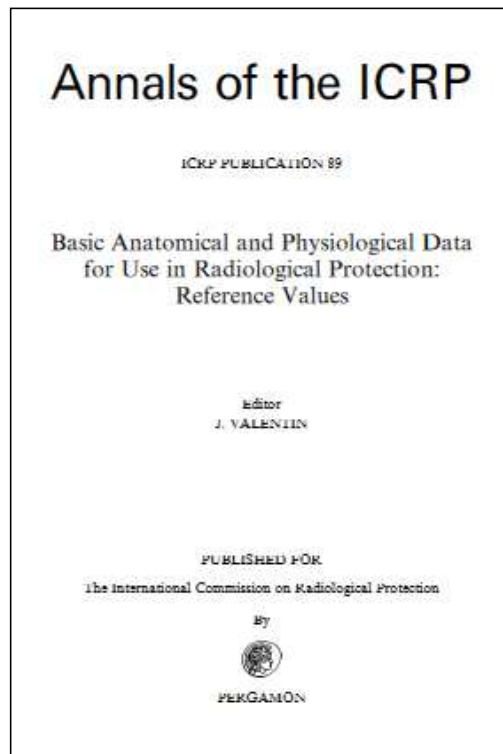
# Des avancées notables depuis les 80s...

- En physiologie et dans les modèles biocinétiques
  - Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)





# Des avancées notables depuis les 80s...



Homme de référence

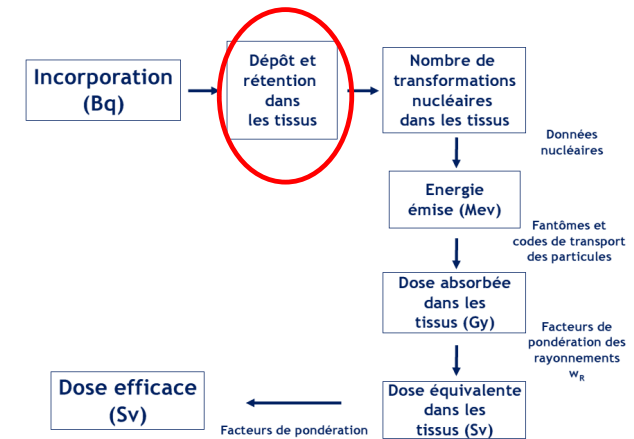


Homme et femme (et enfants)  
de référence

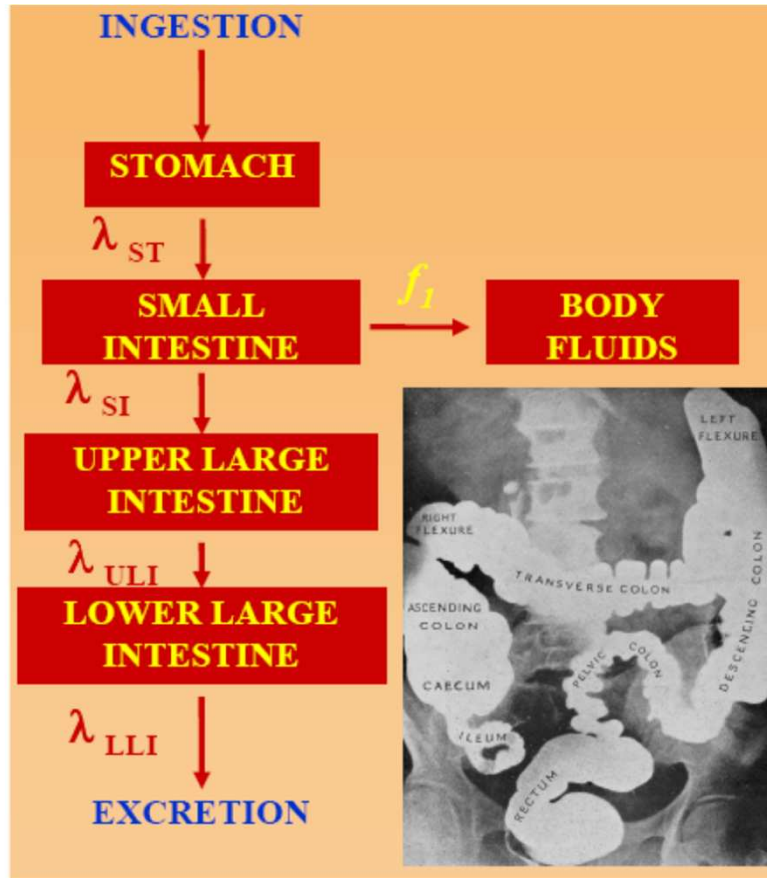
# Des avancées notables depuis les 80s...

## En physiologie et dans les modèles biocinétiques

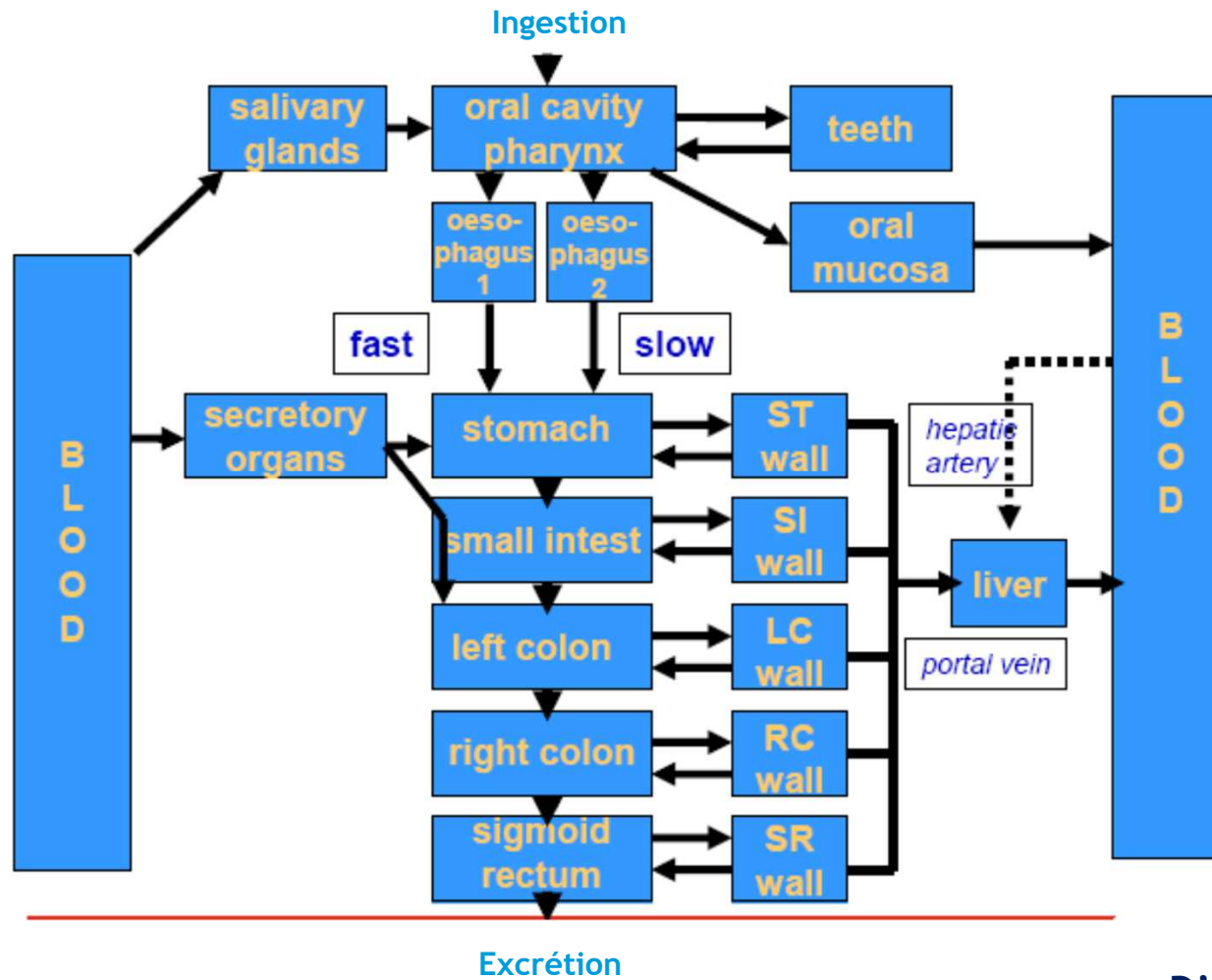
- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)
- Human Alimentary Tract Model (ICRP 100, 2006)



# L'ancien modèle alimentaire humain



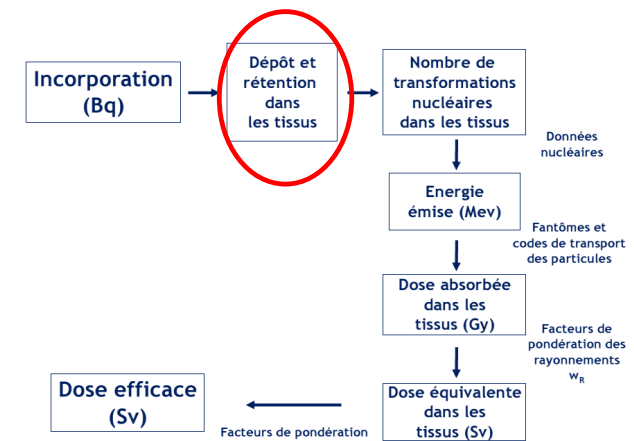
# Le nouveau modèle alimentaire humain



# Des avancées notables depuis les 80s...

## En physiologie et dans les modèles biocinétiques

- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)
- Human Alimentary Tract Model (ICRP 100, 2006)
- Nouveaux modèles systémiques, plus réalistes sur le plan physiologique



# Modèle systémique de l'iode

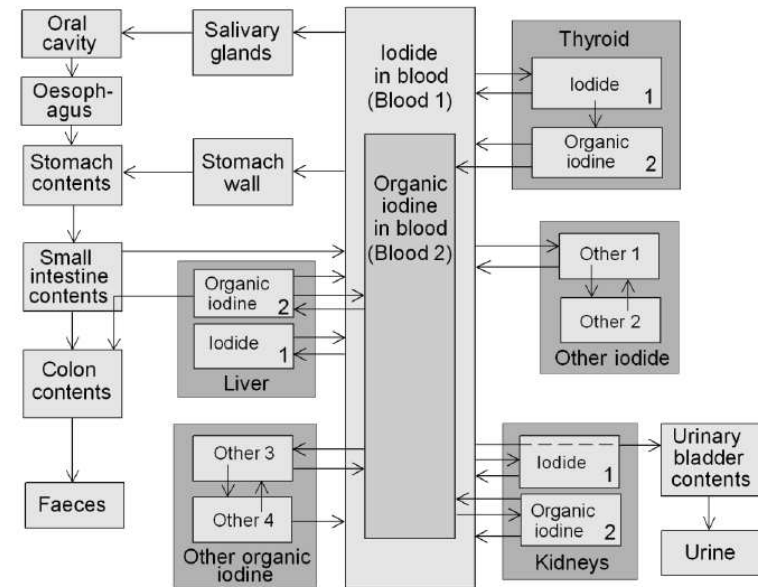
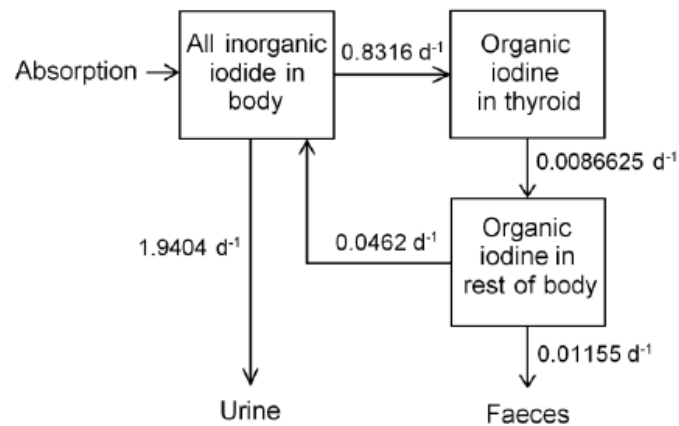


Figure 5-2. Structure of the biokinetic model for systemic iodine used in this report.

## L'ancien modèle (ICRP 1994, 1997)

Trois compartiments :

- iode inorganique circulant
- iode organique thyroïdal
- iode organique extrathyroïdal

## Le nouveau modèle (ICRP, 2017)

# Modèle systémique du strontium

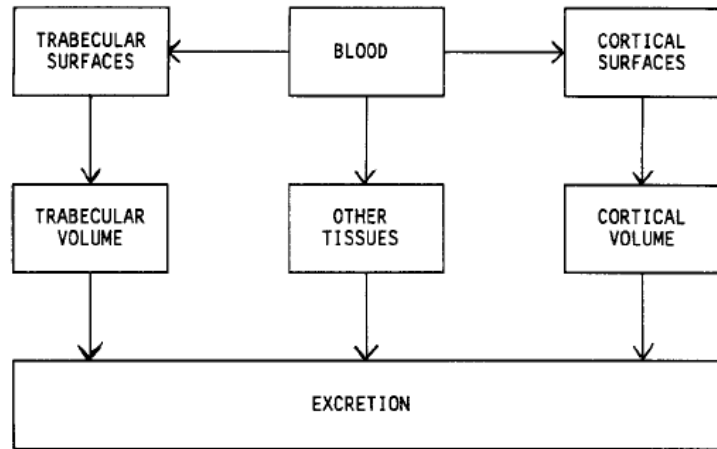


Fig. 2. Diagram of the biokinetic model for strontium.

L'ancien modèle (ICRP 1989)

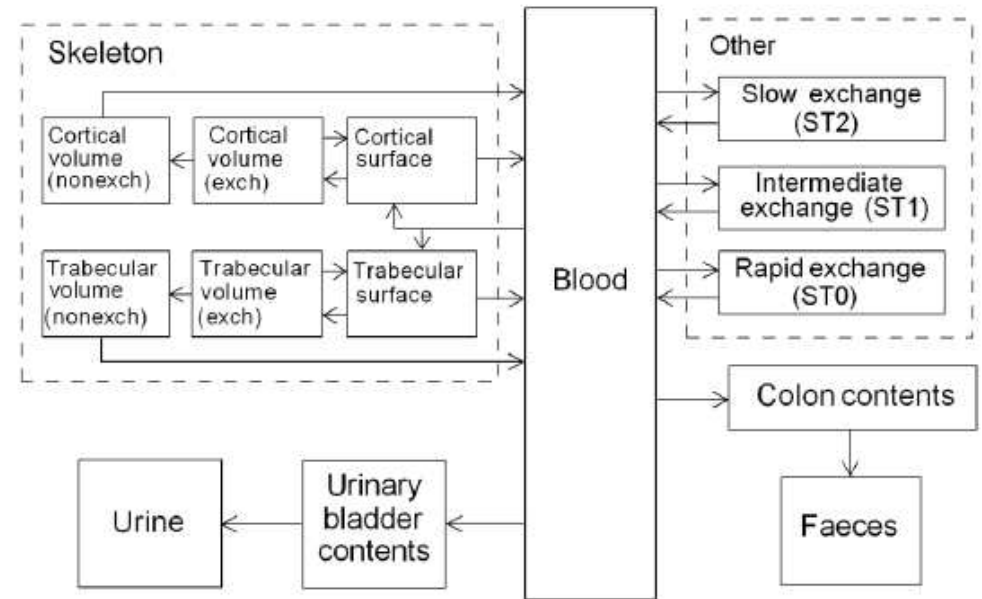
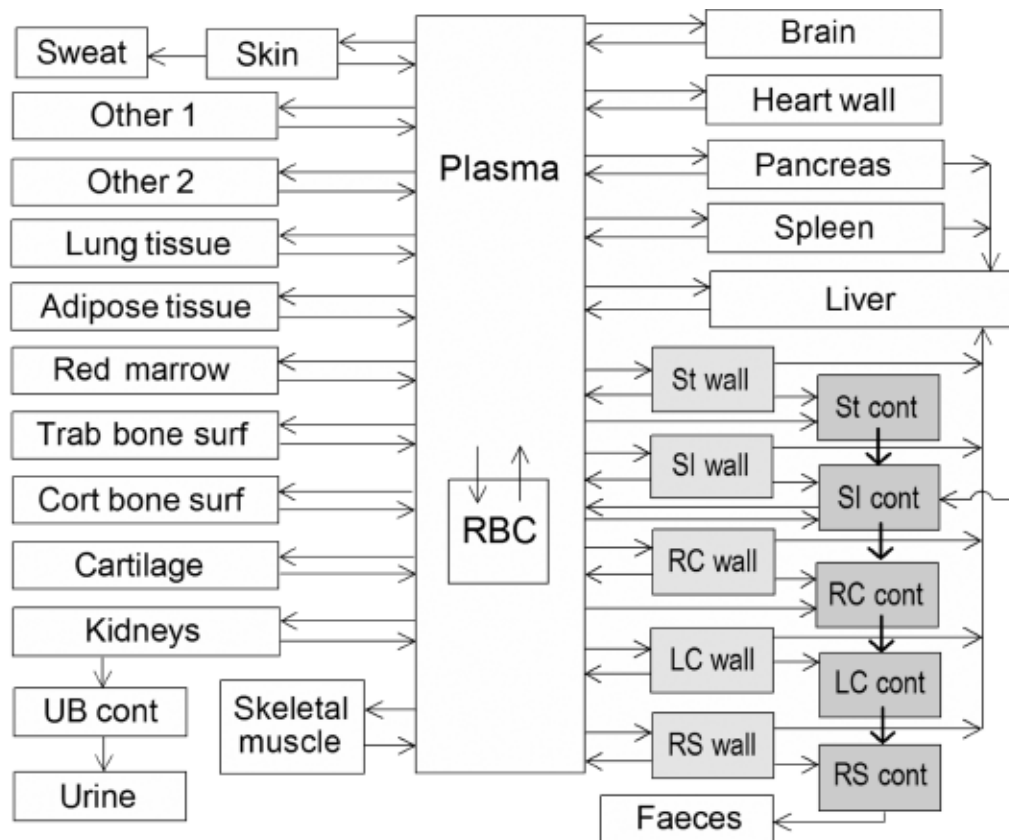


Figure 10-1. Structure of the biokinetic model for systemic strontium. Abbreviations: exch = exchangeable, nonexch = non-exchangeable.

Le nouveau modèle (ICRP, 2016)

# Modèle systémique du césium



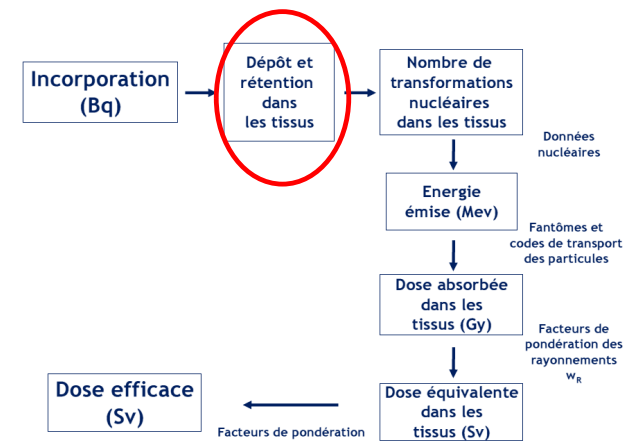
**Le nouveau modèle  
(ICRP , 2017)**



# Des avancées notables depuis les 80s...

## En physiologie et dans les modèles biocinétiques

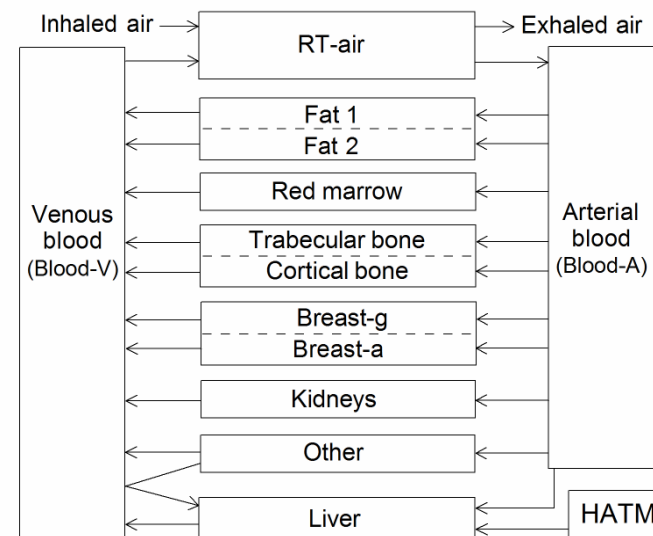
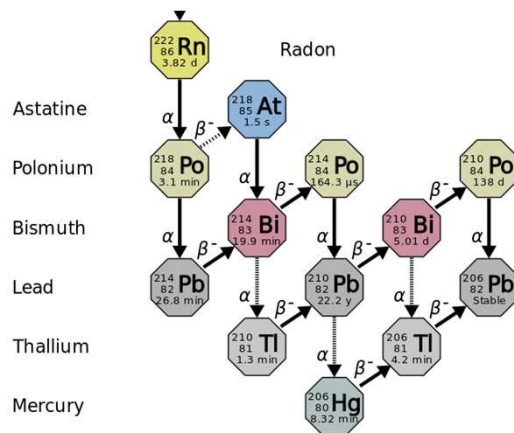
- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)
- Human Alimentary Tract Model (ICRP 100, 2006)
- Nouveaux modèles systémiques, plus réalistes sur le plan physiologique
- Nouvelles données sur le comportement des produits de filiation



# Des avancées notables depuis les 80s...

## En physiologie et dans les modèles biocinétiques

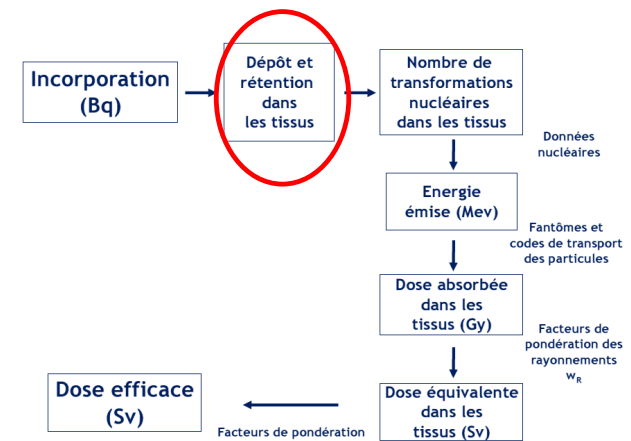
- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)
- Human Alimentary Tract Model (ICRP 100, 2006)
- Nouveaux modèles systémiques, plus réalistes sur le plan physiologique
- Nouvelles données sur le comportement des produits de filiation



# Des avancées notables depuis les 80s...

## En physiologie et dans les modèles biocinétiques

- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)
- Human Alimentary Tract Model (ICRP 100, 2006)
- Nouveaux modèles systémiques, plus réalistes sur le plan physiologique
- Nouvelles données sur le comportement des produits de filiation
- Nouvelles données en faveur d'une mise à jour du HRTM

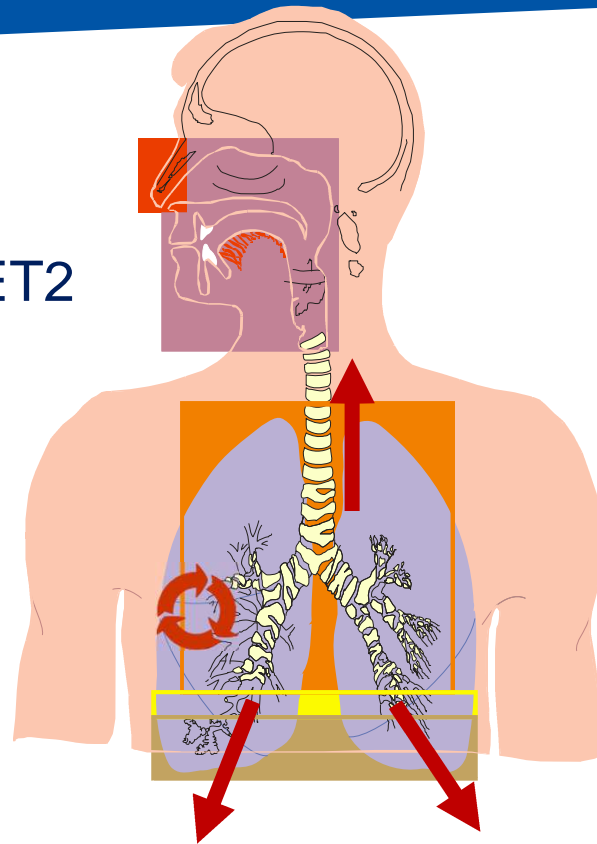


Extrathoracic  
airways ET1 and ET2

Bronchial BB

Bronchiolar bb

Alveolar  
Interstitial AI



Clairance  
muccociliaire

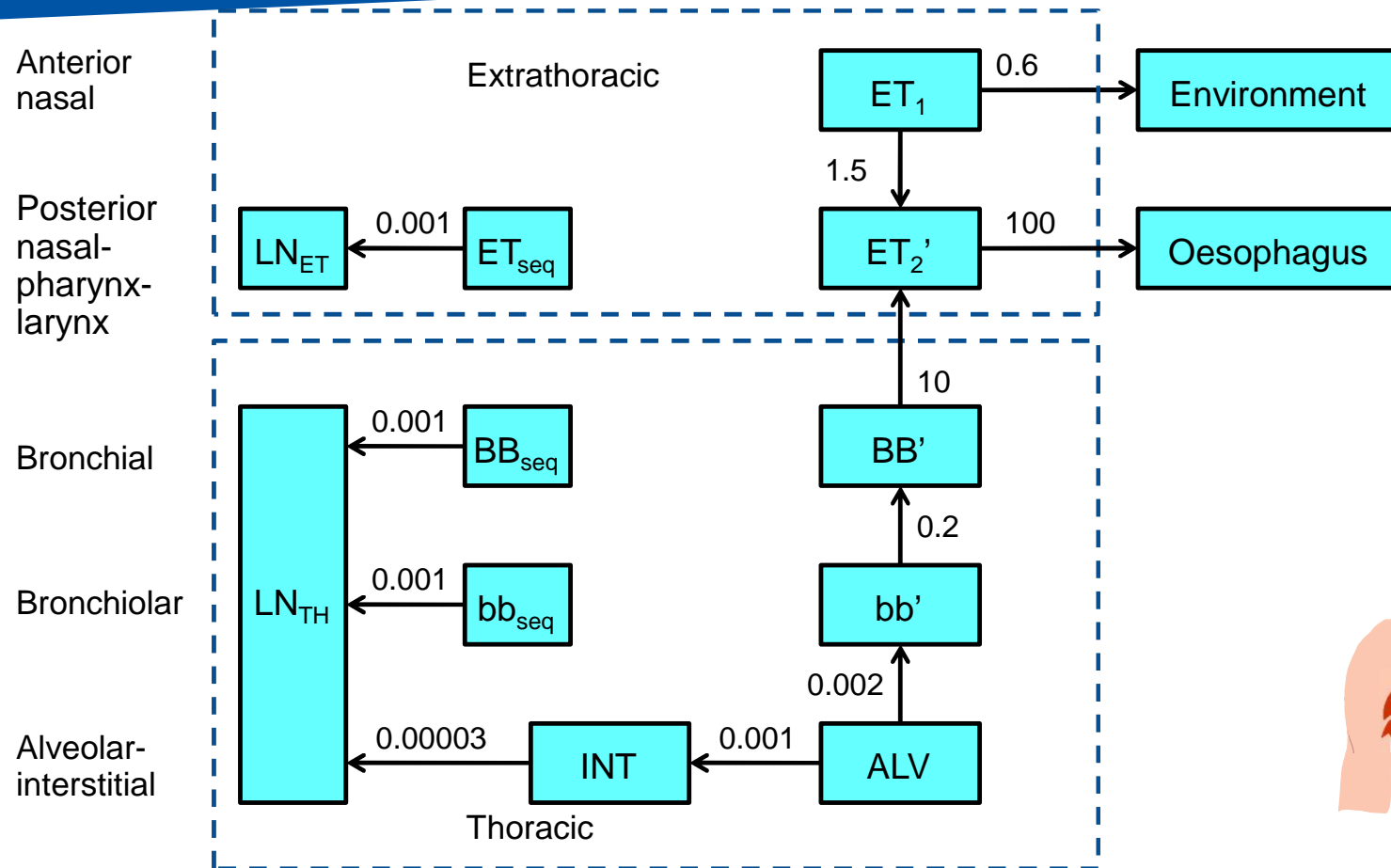
Transfert aux ganglions  
lymphatiques

Absorption vers le sang

28

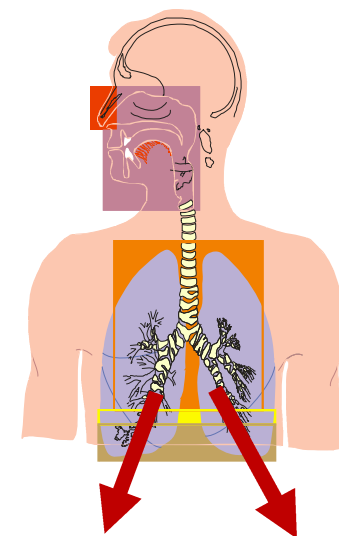
*ICRP Publication 66 (1994)*

# New particle transport model



# Absorption de l'uranium

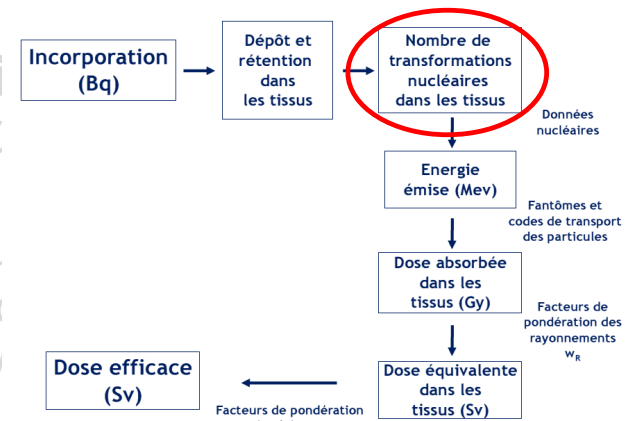
| Compound  | Absorption parameter values |                          |                          | Type  |
|---|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|
|   | $f_r$                       | $s_r$ (d <sup>-1</sup> ) | $s_s$ (d <sup>-1</sup> ) |       |
| <b>Default Type F (UF<sub>6</sub>, U-TBP)</b>                       | <b>1.0</b>                  | <b>10</b>                |                          |       |
| Uranyl nitrate, UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>     | 0.8                         | 1                        | 0.01                     | (F/M) |
| Uranium peroxide hydrate  | 0.8                         | 1                        | 0.01                     | (F/M) |
| Ammonium diuranate, ADU   | 0.8                         | 1                        | 0.01                     | (F/M) |
| <b>Default Type M (UF<sub>4</sub>)</b>                              | <b>0.2</b>                  | <b>3</b>                 | <b>0.005</b>             |       |
| Uranium Octoxide U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ;<br>Uranium dioxide | 0.03                        | 1                        | 0.0005                   | (M/S) |
| <b>Default Type S</b>   | <b>0.01</b>                 | <b>3</b>                 | <b>0.0001</b>            |       |



# Des avancées notables depuis les 80s...

## En physiologie et dans les modèles biocinétiques

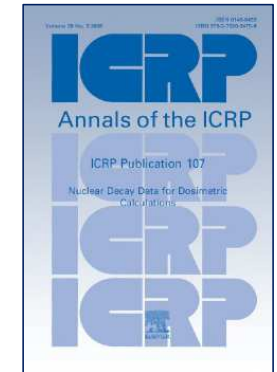
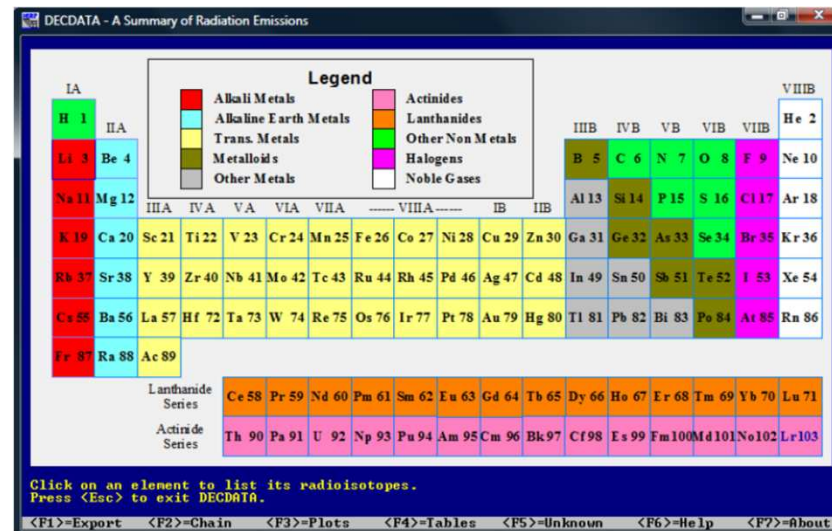
- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 67, 1992)
- Human Alimentary Tract Model (ICRP 100, 2006)
- Nouveaux modèles systémiques, plus réalistes sur le comportement des radionucléides
- Nouvelles données sur le comportement des radionucléides
- Nouvelles données en faveur d'une MAJ du HRTM



## Dans les domaines de la dosimétrie et de la mesure

- Révision des données de décroissance radioactive (ICRP 107, 2008)

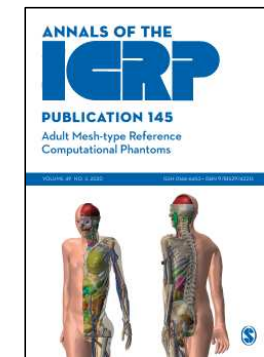
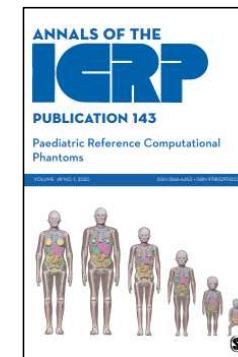
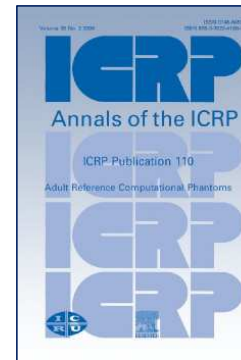
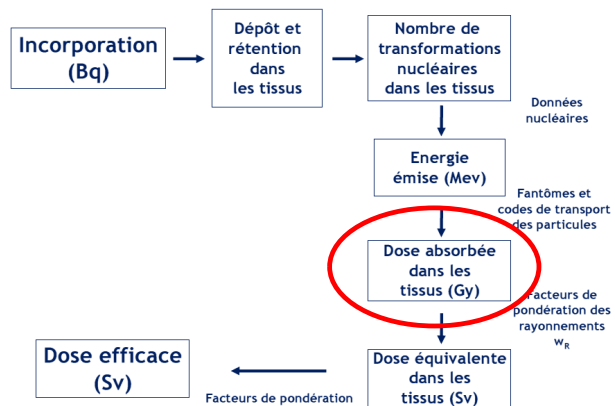
# Les nouvelles données de décroissance radioactive : la CIPR 107



Révision de la publication CIPR 38 (1983) avec CD et logiciel (2008)  
Schémas de décroissance, énergie et rendement des radiations émises pour 1252 radioisotopes (dont 330 périodes < 10 min) de 97 éléments  
Spectres  $\beta$ , Auger-CK (136) et neutrons (28)  
Coefficient de kerma dans l'air



# Des avancées notables depuis les 80s...

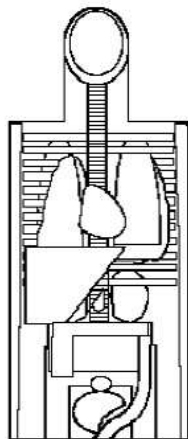


## Dans les domaines de la dosimétrie et de la mesure

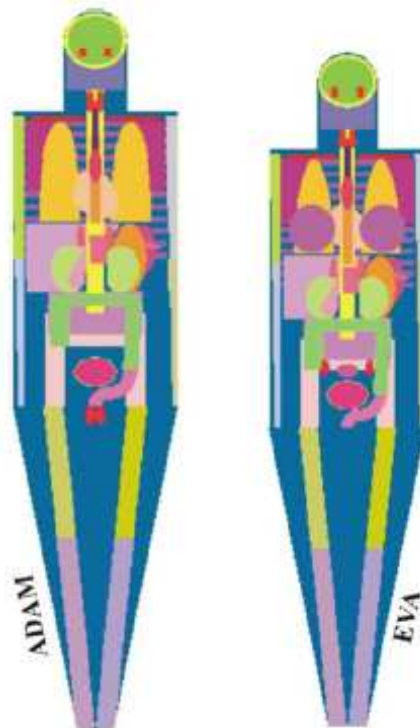
- Révision des données de décroissance radioactive (ICRP 107, 2008)
- Développement de nouveaux fantômes de référence, sur le modèle de l'Homme de référence (ICRP 110 (2009), 143 (2020), 145 (2020))

# Les anciens fantômes anthropomorphes

## 1970 s Les fantômes mathématiques



68 régions



Taille et forme du corps et des tissus sont représentés par des équations

The brain is an ellipsoid given by

$$\left(\frac{x}{6}\right)^2 + \left(\frac{y}{9}\right)^2 + \left(\frac{z - 86.5}{6.5}\right)^2 \cong 1,$$

and the volume is 1,470 cm<sup>3</sup> (Fig. 4).

# Les nouveaux fantômes anthropomorphes

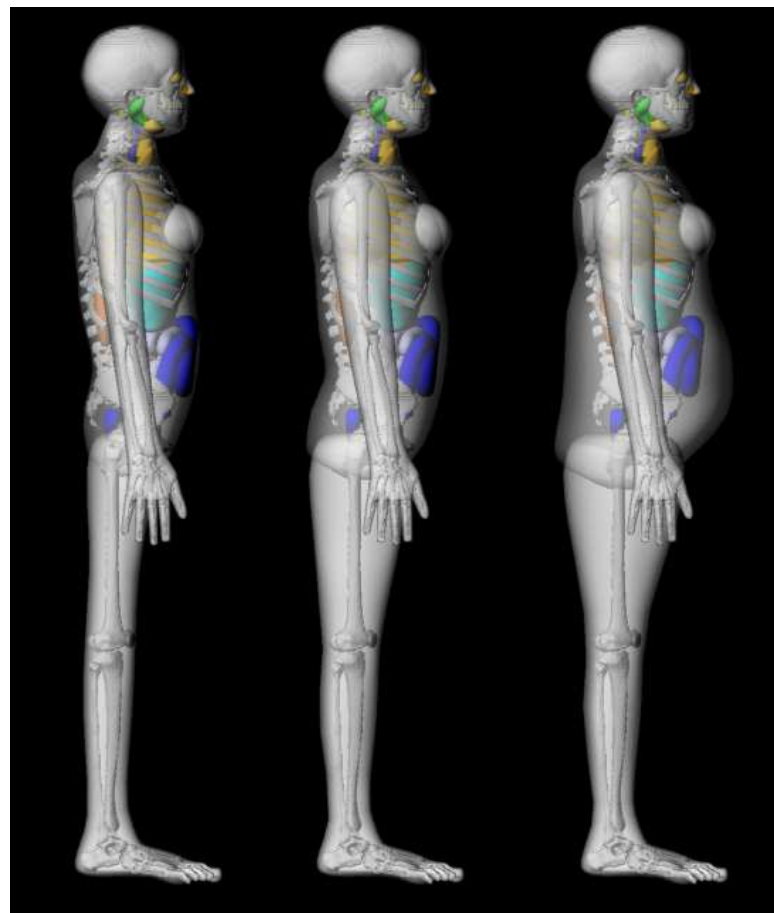
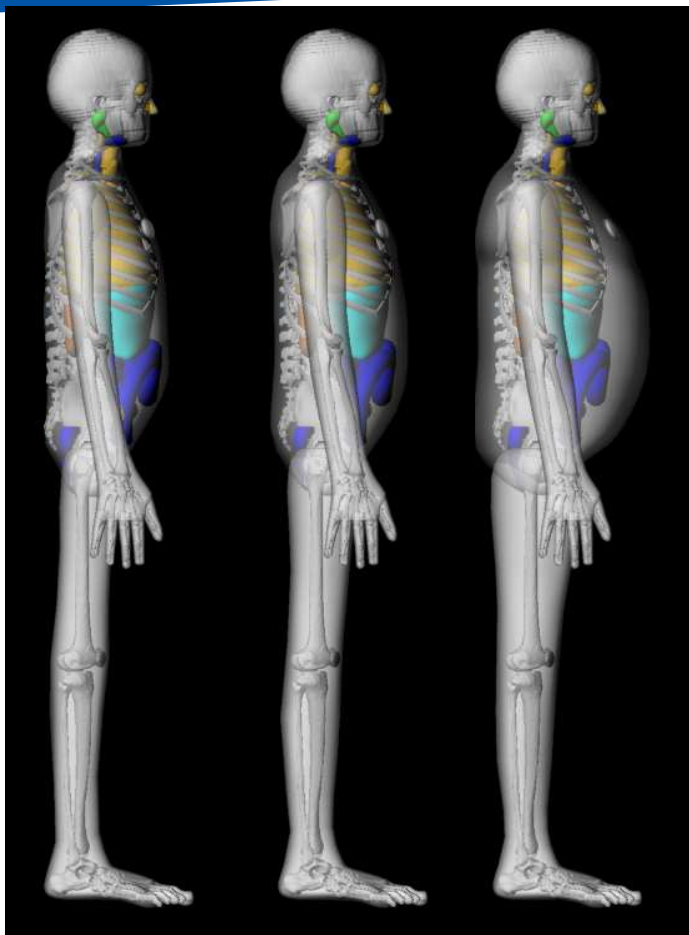
female  
163 cm, 60 Kg  
3.9 million voxels  
voxel size: 15.2 mm<sup>3</sup>  
slice thickness: 4.84 mm  
In-plane resolution:  
1.775 mm

male  
176 cm, 73 Kg  
1.9 million voxels  
voxel size: 36.5 mm<sup>3</sup>  
Slice thickness: 8 mm  
In-plane resolution:  
2.137 mm

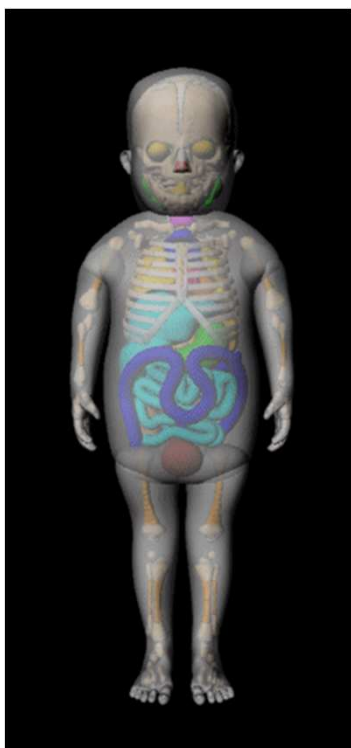
M. Zankl (Helmholtz)



# Les nouveaux fantômes anthropomorphes

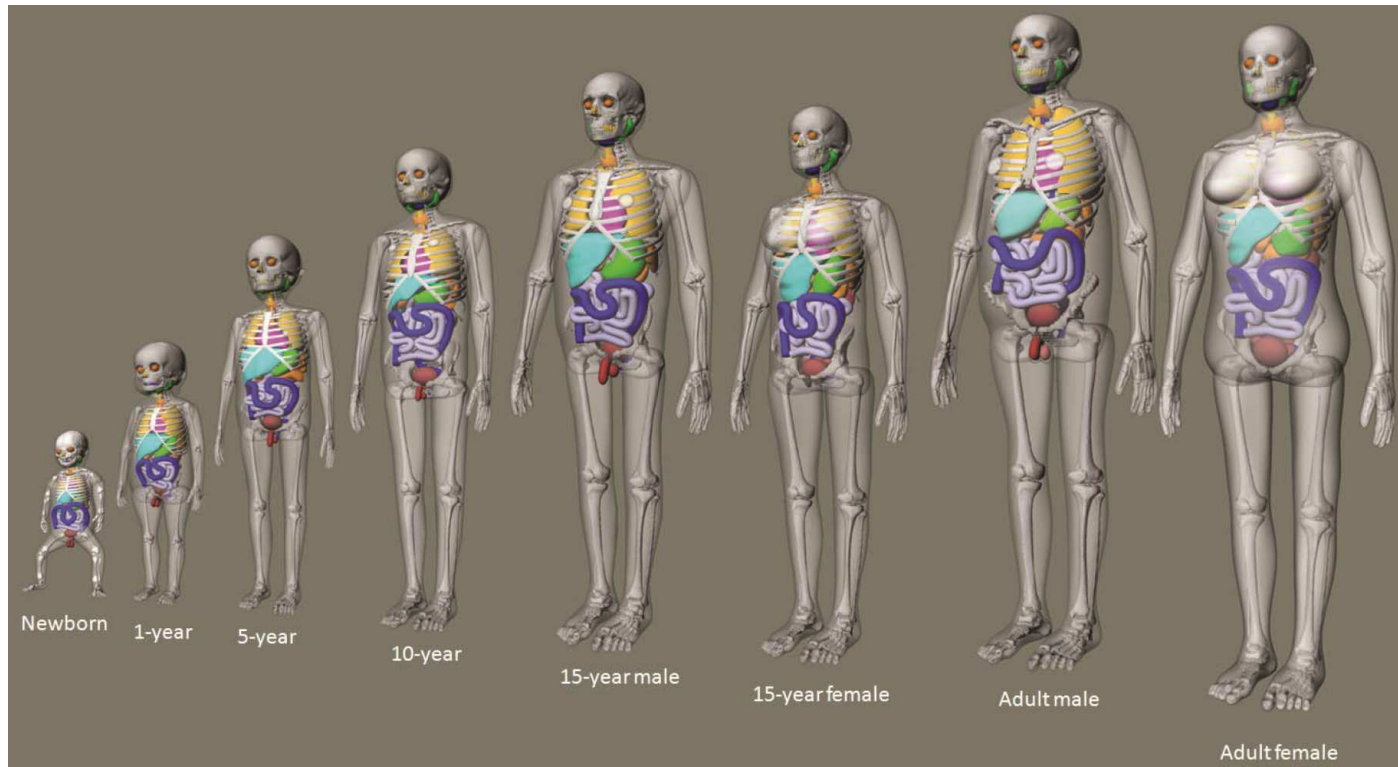


# Les nouveaux fantômes anthropomorphes



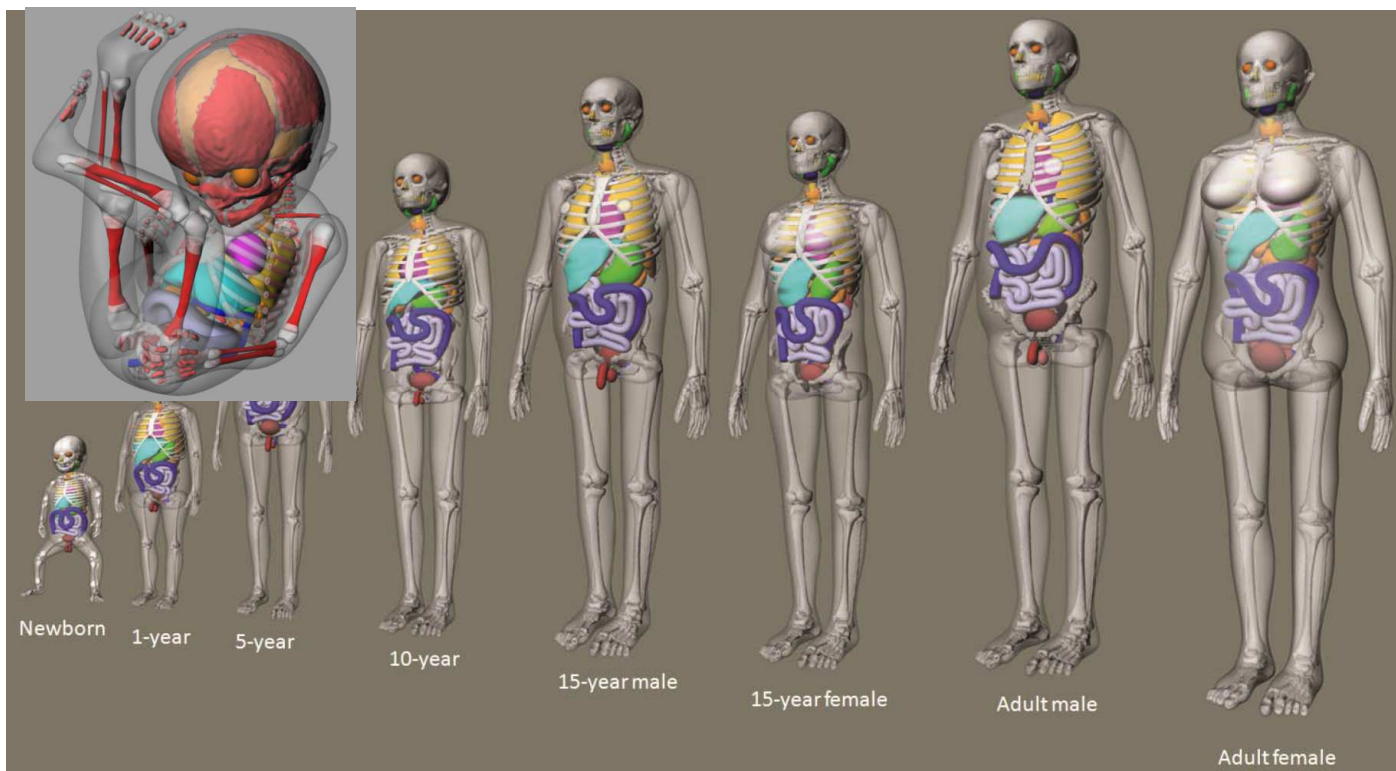
Fantômes pédiatriques pour enfants âgés de  
3 mois, 1,5, 10, 15 ans

# Les nouveaux fantômes anthropomorphes

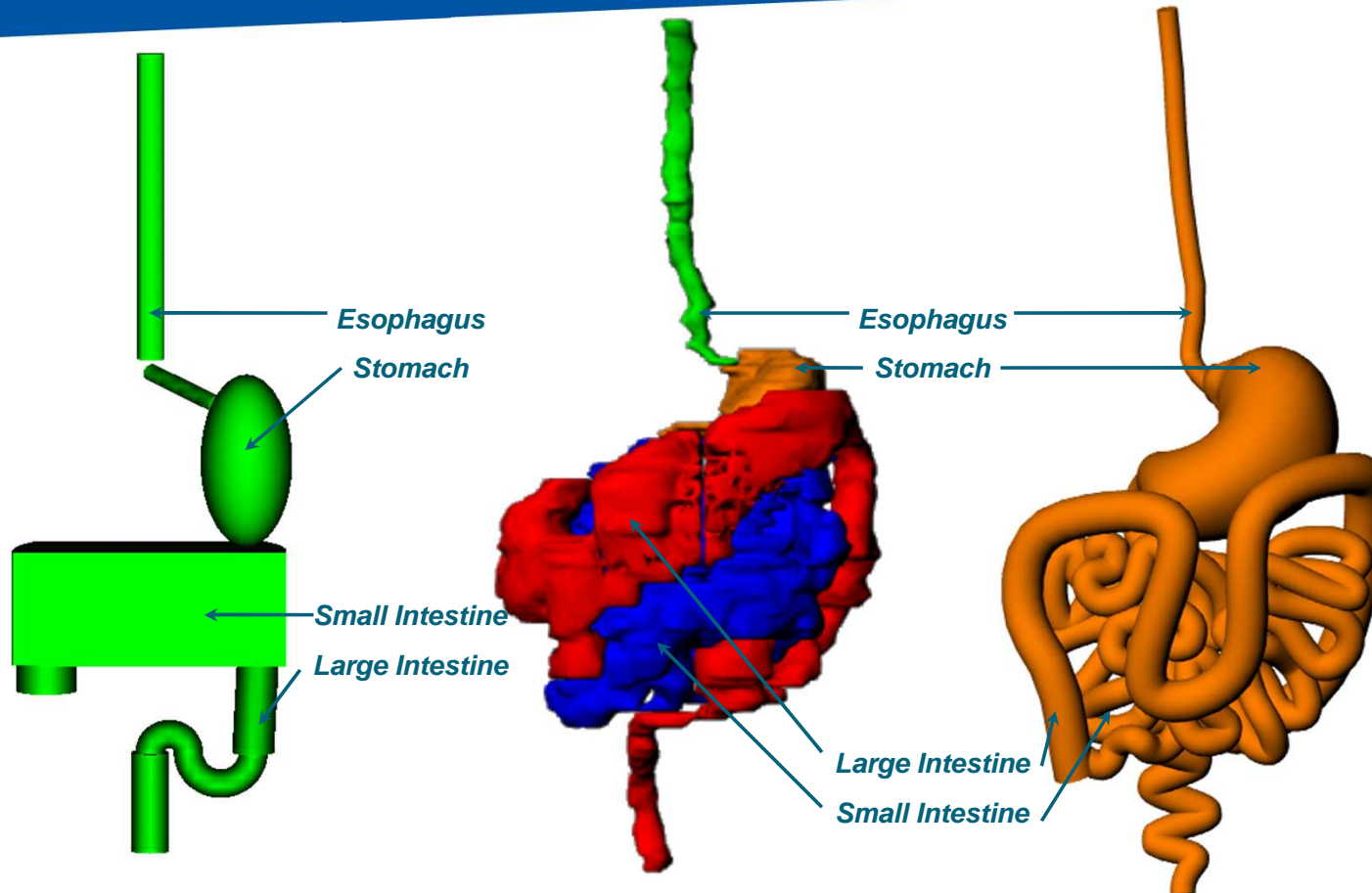




# Les nouveaux fantômes anthropomorphes



# Les nouveaux fantômes anthropomorphes



*Stylized Phantom*

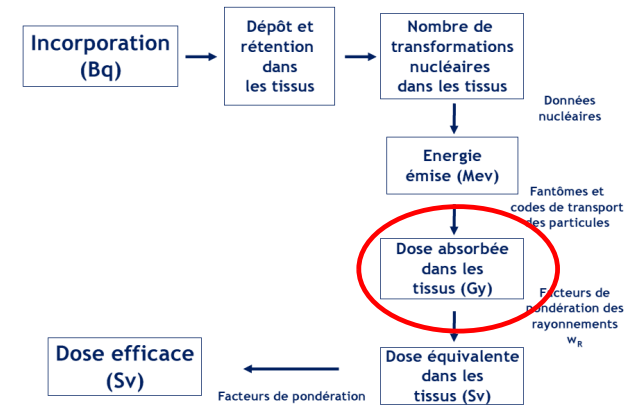
*Voxel Phantom*

*Hybrid Phantom*



# Des avancées notables depuis les 80s...

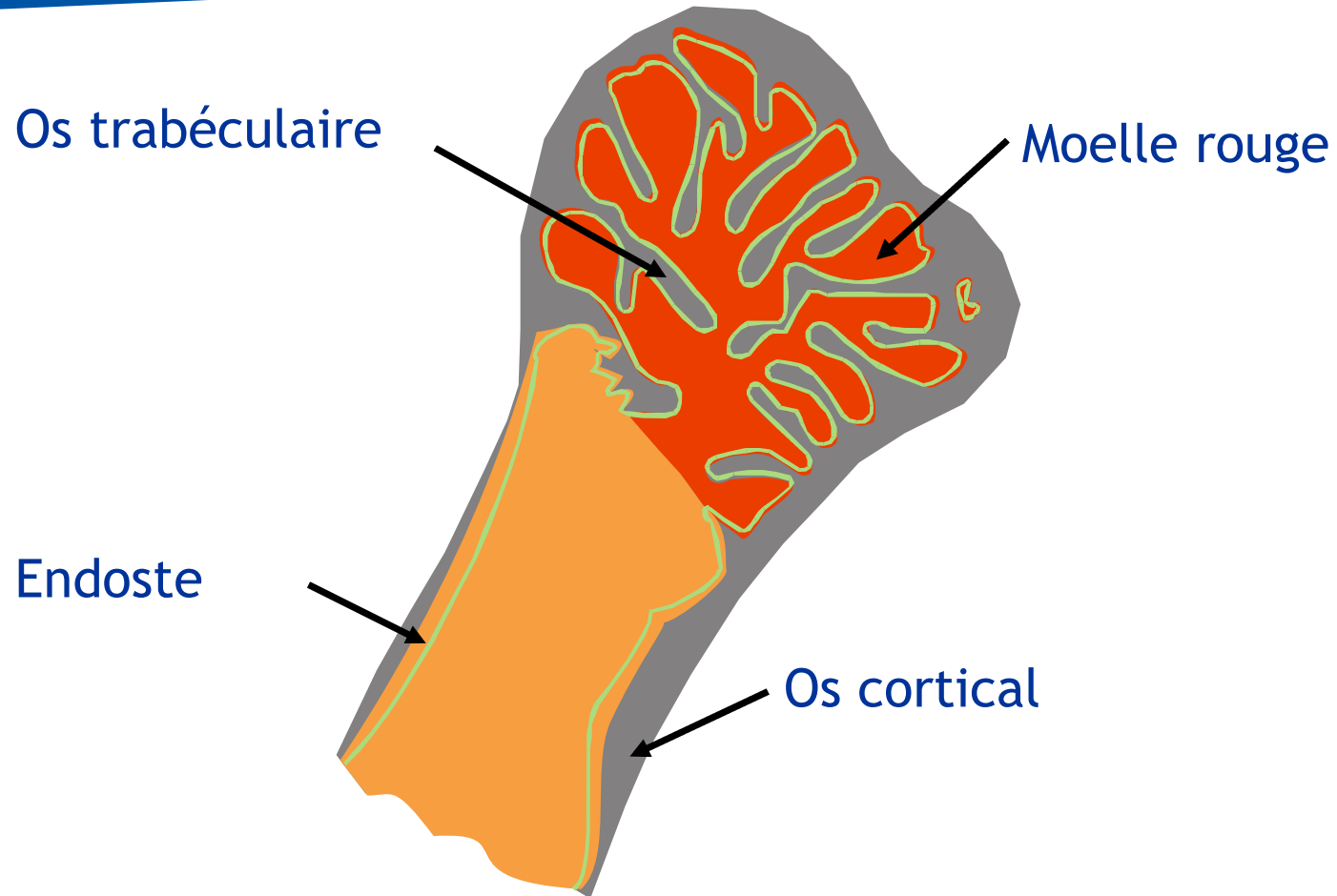
- 
- 
- 
- 
- 

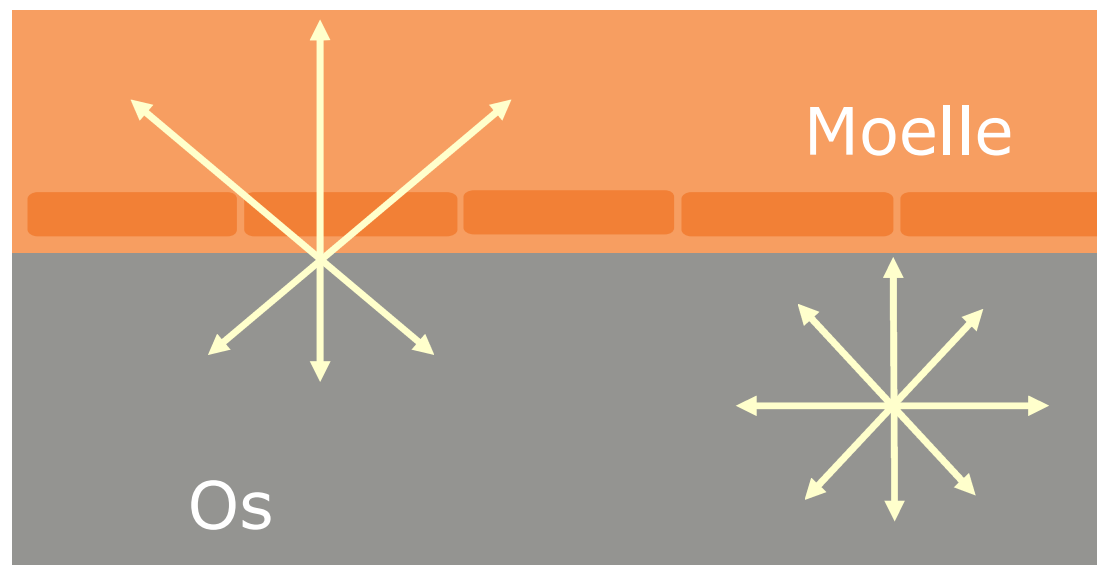


## Dans les domaines de la dosimétrie et de la mesure

- Révision des données de décroissance radioactive (ICRP 107, 2008)
- Développement de nouveaux fantômes de référence , sur le modèle de l'homme de référence (ICRP 110, 2009)
- Nouvelles données sur la dosimétrie du squelette (ICRP 116, 2010)

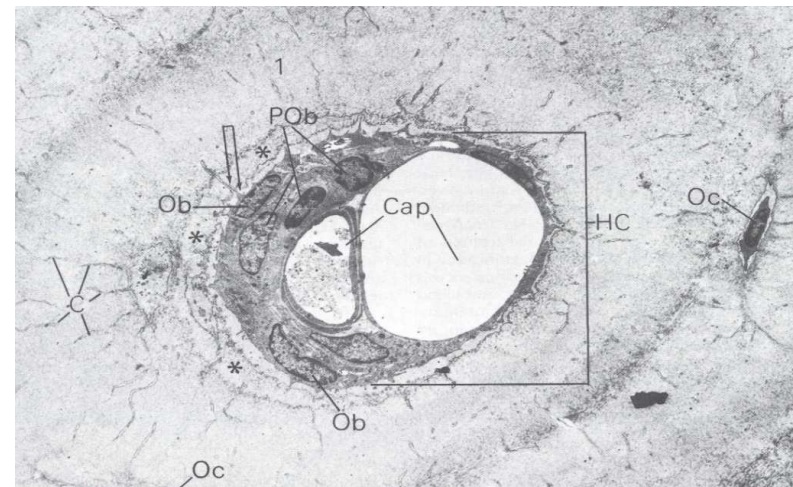
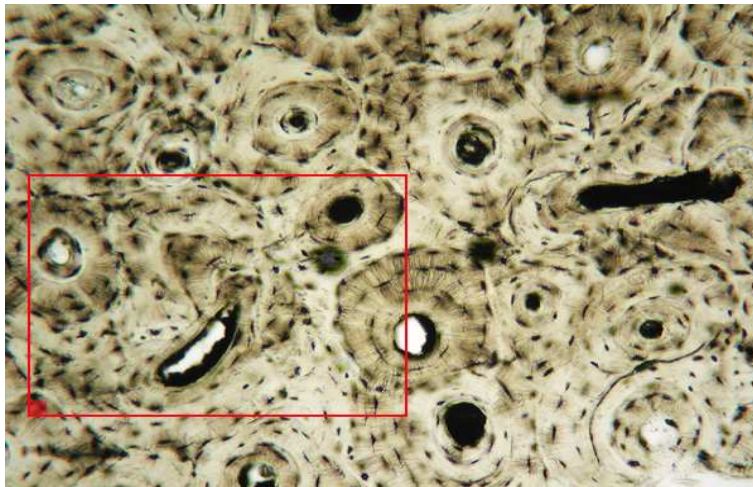
# Structure osseuse





## Cellules cibles pour l'induction de cancers osseux réparties sur

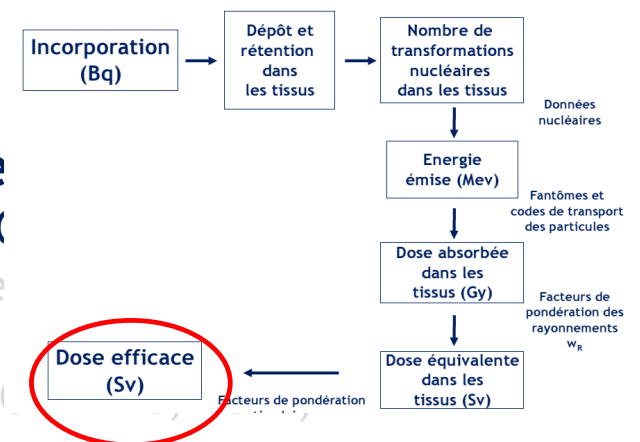
- Une couche de 50  $\mu\text{m}$  à partir de la surface des os trabéculaires
- Rien sur les surfaces de l'os cortical
- Partout dans le système Haversien de l'os cortical

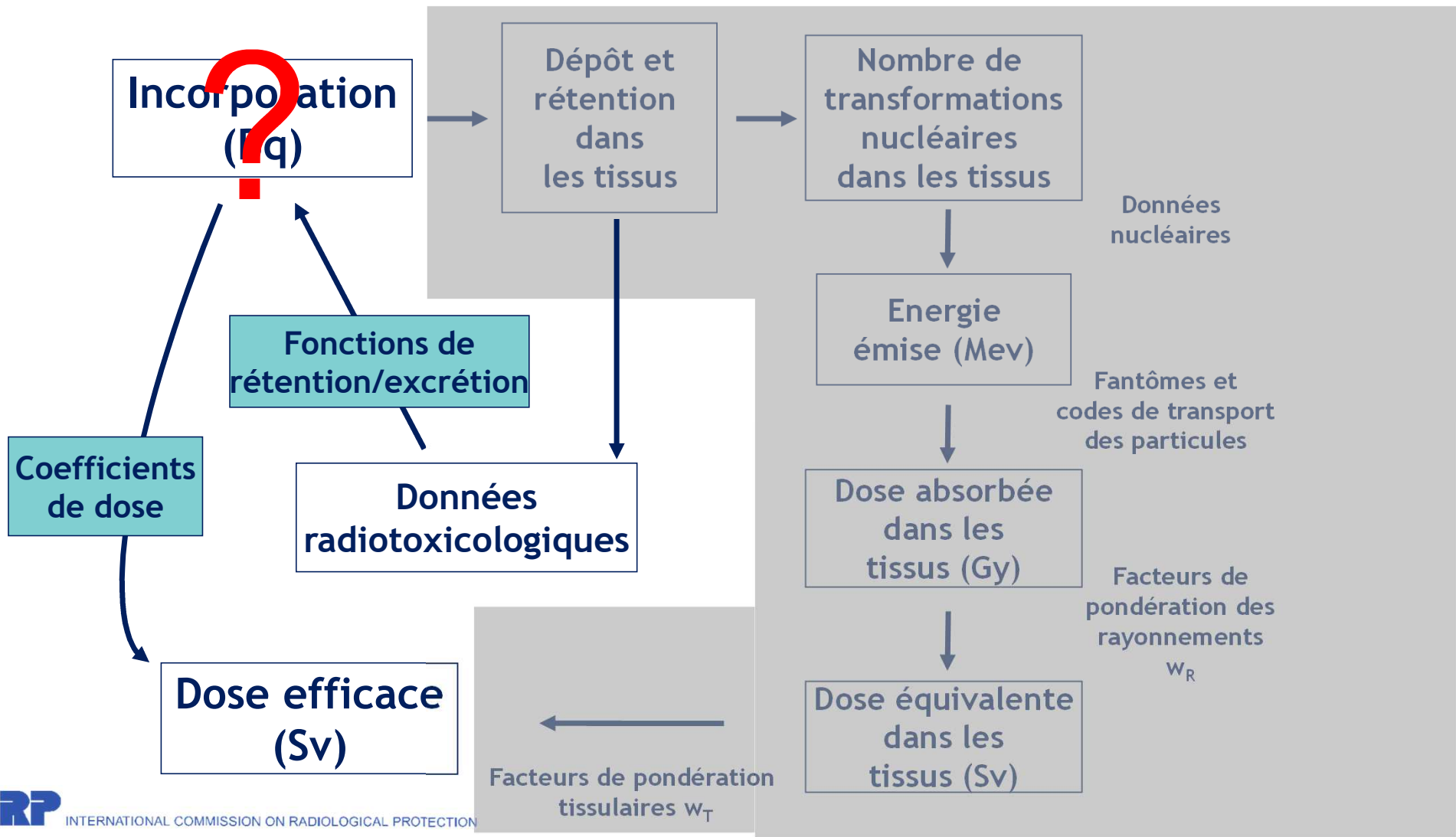


# Des avancées notables depuis les 80s...

## Dans les domaines de la dosimétrie et de la me

- Révision des données de décroissance radioactive (ICRP 107)
- Développement de nouveaux fantômes de référence sur le modèle de l'homme de référence (ICRP 110, ICRP 111)
- Nouvelles données sur la dosimétrie du squelette (ICRP 119)
- Nouveau concept de dose par contenu





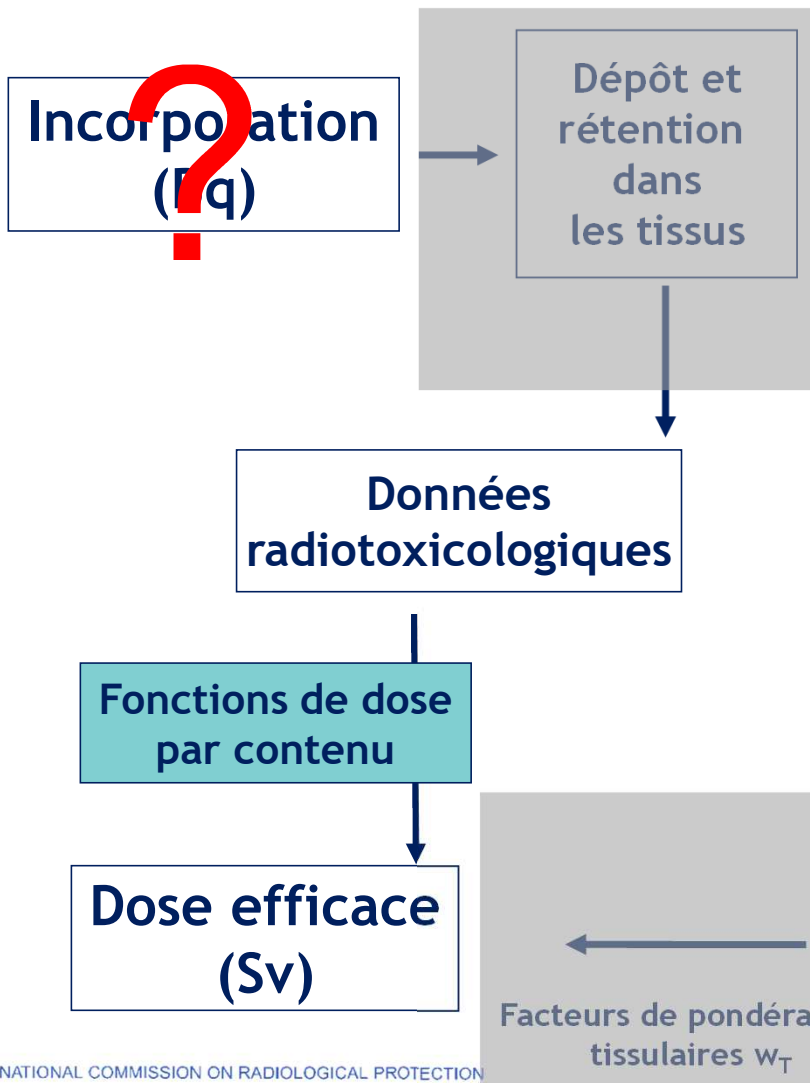
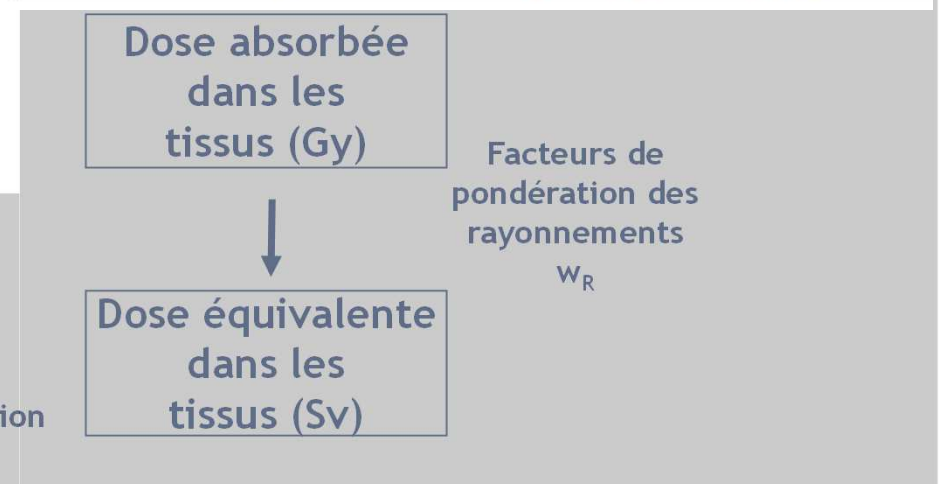


Table 22.17. Dose per activity content of <sup>238</sup>Pu in the lungs and in daily excreted aerosols inhaled by a reference worker at light work.

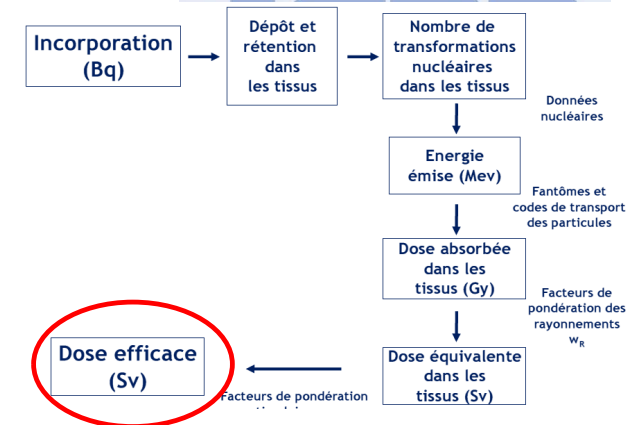
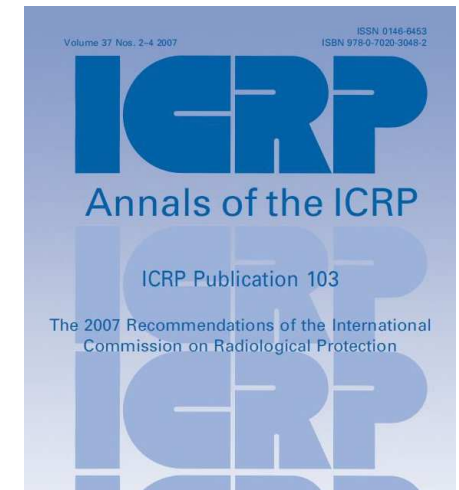
| Time after intake (d) | Plutonium nitrate |         |         | Plutonium dioxide etc. |         |         | Dioxide, ceramic |         |         | Dioxide, non-ceramic |         |         |
|-----------------------|-------------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|------------------|---------|---------|----------------------|---------|---------|
|                       | Lung              | Urine   | Faeces  | Lung                   | Urine   | Faeces  | Lung             | Urine   | Faeces  | Lung                 | Urine   | Faeces  |
| 1                     | 2.0E-04           | 5.6E-01 | 1.4E-04 | 3.7E-04                | 5.6E+01 | 2.7E-04 | 1.8E-04          | 2.1E+04 | 1.3E-04 | 1.7E-04              | 3.4E+01 | 1.2E-04 |
| 2                     | 2.2E-04           | 3.0E-01 | 4.4E-05 | 3.8E-04                | 3.0E+01 | 8.6E-05 | 1.8E-04          | 6.9E+03 | 4.1E-05 | 1.7E-04              | 1.5E+01 | 3.9E-05 |
| 3                     | 2.3E-04           | 3.1E-01 | 6.8E-05 | 3.9E-04                | 3.1E+01 | 1.3E-04 | 1.9E-04          | 4.0E+03 | 6.3E-05 | 1.8E-04              | 1.2E+01 | 6.0E-05 |
| 4                     | 2.4E-04           | 3.6E-01 | 1.8E-04 | 4.0E-04                | 3.6E+01 | 3.4E-04 | 1.9E-04          | 2.7E+03 | 1.6E-04 | 1.8E-04              | 1.1E+01 | 1.6E-04 |
| 5                     | 2.5E-04           | 4.5E-01 | 6.0E-04 | 4.1E-04                | 4.5E+01 | 1.2E-03 | 1.9E-04          | 2.1E+03 | 5.5E-04 | 1.8E-04              | 1.0E+01 | 5.2E-04 |
| 6                     | 2.6E-04           | 5.6E-01 | 2.1E-03 | 4.1E-04                | 5.7E+01 | 4.1E-03 | 2.0E-04          | 1.6E+03 | 1.9E-03 | 1.9E-04              | 1.0E+01 | 1.8E-03 |
| 7                     | 2.7E-04           | 6.9E-01 | 6.6E-03 | 4.2E-04                | 7.1E+01 | 1.2E-02 | 2.0E-04          | 1.4E+03 | 5.7E-03 | 1.9E-04              | 9.6E+00 | 5.4E-03 |
| 8                     | 2.7E-04           | 8.3E-01 | 1.4E-02 | 4.2E-04                | 8.8E+01 | 2.3E-02 | 2.0E-04          | 1.2E+03 | 1.1E-02 | 1.9E-04              | 9.3E+00 | 1.1E-02 |
| 9                     | 2.7E-04           | 9.9E-01 | 2.0E-02 | 4.3E-04                | 1.1E+02 | 3.3E-02 | 2.0E-04          | 1.0E+03 | 1.6E-02 | 1.9E-04              | 9.0E+00 | 1.5E-02 |
| 10                    | 2.8E-04           | 1.1E+00 | 2.5E-02 | 4.3E-04                | 1.2E+02 | 4.1E-02 | 2.0E-04          | 8.9E+02 | 1.9E-02 | 2.0E-04              | 8.7E+00 | 1.8E-02 |
| 15                    | 2.9E-04           | 1.8E+00 | 5.4E-02 | 4.4E-04                | 2.1E+02 | 8.5E-02 | 2.1E-04          | 5.5E+02 | 4.1E-02 | 2.0E-04              | 7.7E+00 | 3.9E-02 |
| 30                    | 3.1E-04           | 2.7E+00 | 1.4E-01 | 4.6E-04                | 3.7E+02 | 2.2E-01 | 2.2E-04          | 2.5E+02 | 1.0E-01 | 2.2E-04              | 5.9E+00 | 1.0E-01 |
| 45                    | 3.3E-04           | 3.1E+00 | 1.6E-01 | 4.7E-04                | 4.6E+02 | 2.4E-01 | 2.3E-04          | 1.6E+02 | 1.2E-01 | 2.3E-04              | 4.9E+00 | 1.1E-01 |
| 60                    | 3.5E-04           | 3.3E+00 | 1.8E-01 | 4.9E-04                | 5.2E+02 | 2.6E-01 | 2.3E-04          | 1.2E+02 | 1.2E-01 | 2.4E-04              | 4.4E+00 | 1.2E-01 |
| 90                    | 3.9E-04           | 3.6E+00 | 2.1E-01 | 5.1E-04                | 5.9E+02 | 2.8E-01 | 2.5E-04          | 7.7E+01 | 1.3E-01 | 2.7E-04              | 3.7E+00 | 1.4E-01 |
| 180                   | 5.5E-04           | 4.3E+00 | 3.2E-01 | 6.0E-04                | 7.2E+02 | 3.7E-01 | 2.9E-04          | 4.2E+01 | 1.8E-01 | 4.1E-04              | 3.3E+00 | 2.4E-01 |
| 365                   | 1.0E-03           | 5.2E+00 | 7.8E-01 | 7.9E-04                | 7.8E+02 | 6.5E-01 | 4.0E-04          | 2.6E+01 | 3.3E-01 | 1.0E-03              | 4.0E+00 | 7.3E-01 |



# Des avancées notables depuis les 80s...

## Dans les recommandations de la CIPR

- Changements dans les facteurs de pondération (ICRP 103, 2007)

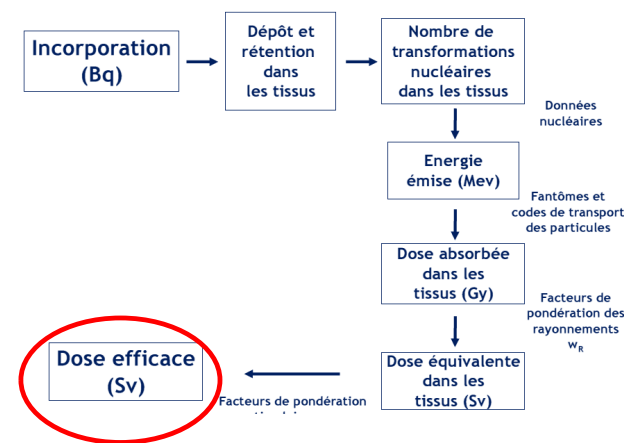
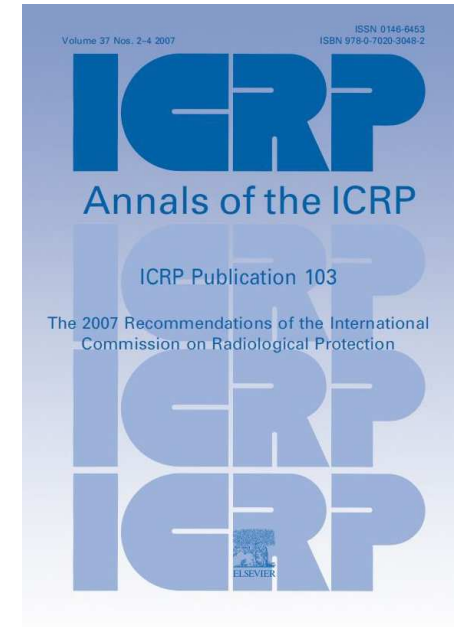




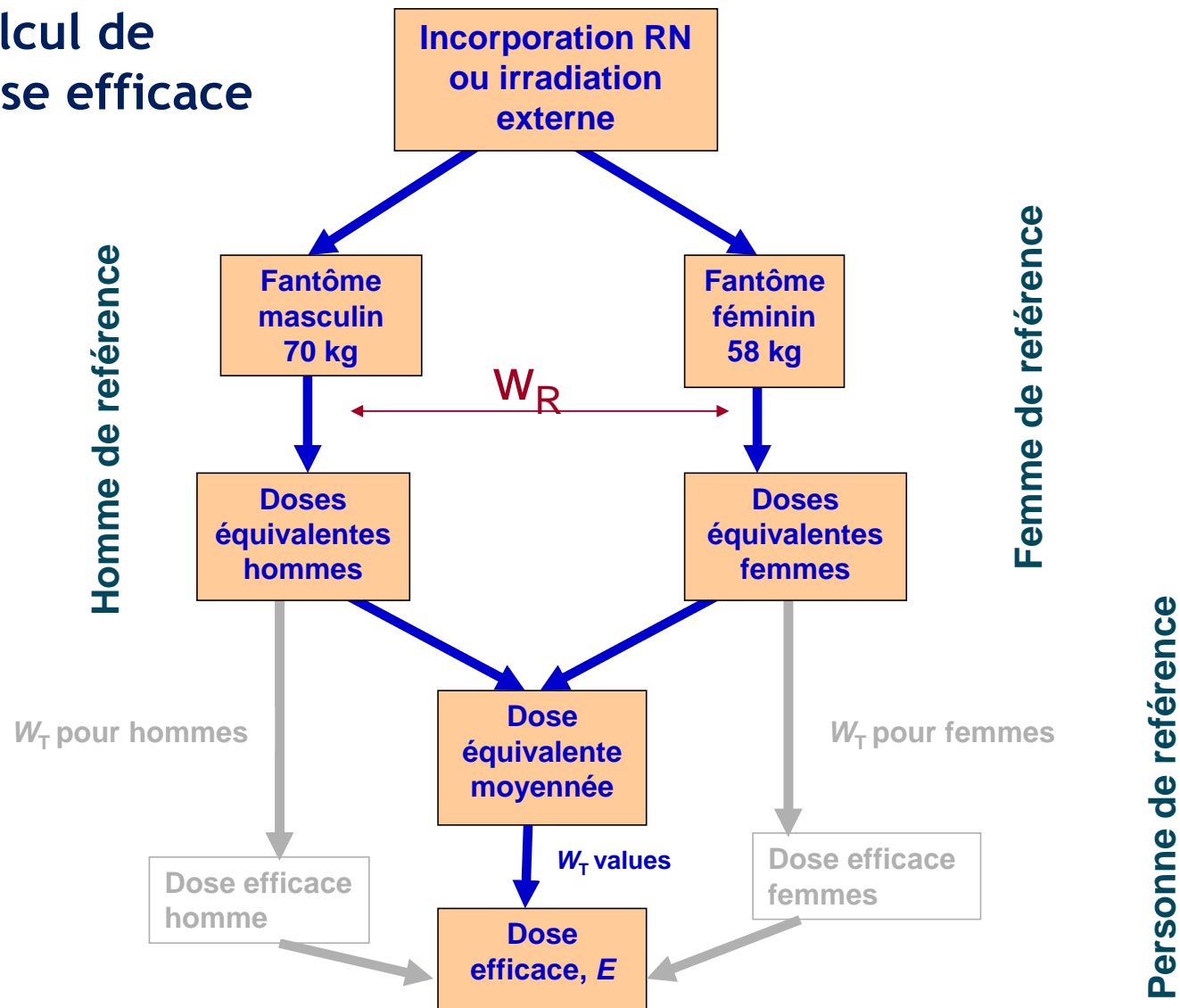
# Des avancées notables depuis les 80s...

## Dans les recommandations de la CIPR

- Changements dans les facteurs de pondération (ICRP 103, 2007)
- Changements dans le mode de calcul de la dose efficace



# le calcul de la dose efficace



# Des avancées notables depuis les 80s...

## Dans les recommandations de la CIPR

- Changements dans les facteurs de pondération (ICRP 103, 2007)
- Changements dans le mode de calcul de la dose efficace (ICRP 103, 2007)
- Décision de gestion du radon selon une approche dosimétrique (ICRP 115, 2009)

**Coefficients de conversion**

(Approche épidémiologique)



**Coefficients de dose**

(Approche dosimétrique)

# Des avancées notables depuis les 80s...

Ces nouvelles données ont rendu nécessaires une mise à jour des anciennes publications ainsi que la fourniture de nouveaux coefficients de dose accompagnés de conseils portant sur la surveillance médicale des personnes exposées

Fait pour les coefficients de dose externe (ICRP 116 (2010), ICRP 144 (2020))  
Doit être fait pour la dosimétrie interne

# Mise à jour des coefficients de dose

## Répartition des tâches en deux parties

- Révision des modèles et coefficients de dose pour les travailleurs  
(*série OIR, 2006 → 2021*)
- Révision des modèles et coefficients de dose pour les membres du public  
(*Série « Age dependant », Embryo and fetus, maternal transfer,..., 2023 → 2030?*)

# La série OIR pour les travailleurs

*Intègre toutes les nouveautés citées ci-avant*

*5 volumes de 2015 à 2022*

*ICRP Publications 130, 134, 137, 141, 151*

*Coefficients and fonctions de dose par contenu pour environ 1200 isotopes*

*Inhalation, ingestion et injection*

*Différentes formes chimiques*

*Taille de particule de 0,001  $\mu\text{m}$  à 20  $\mu\text{m}$*

*Exposition par submersion pour les gaz rares*

*Production du « data viewer »*

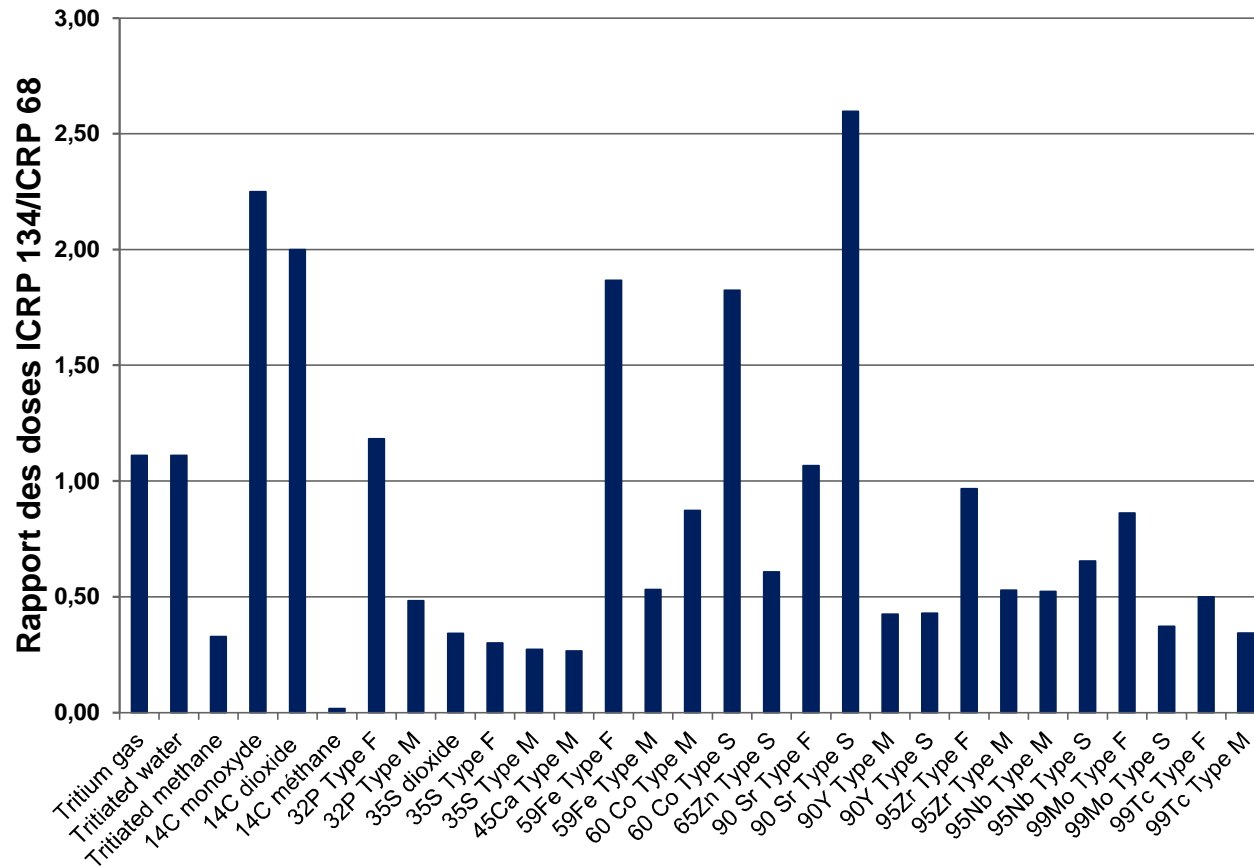
*Données en libre accès sur [www.icrp.org](http://www.icrp.org)*



INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION

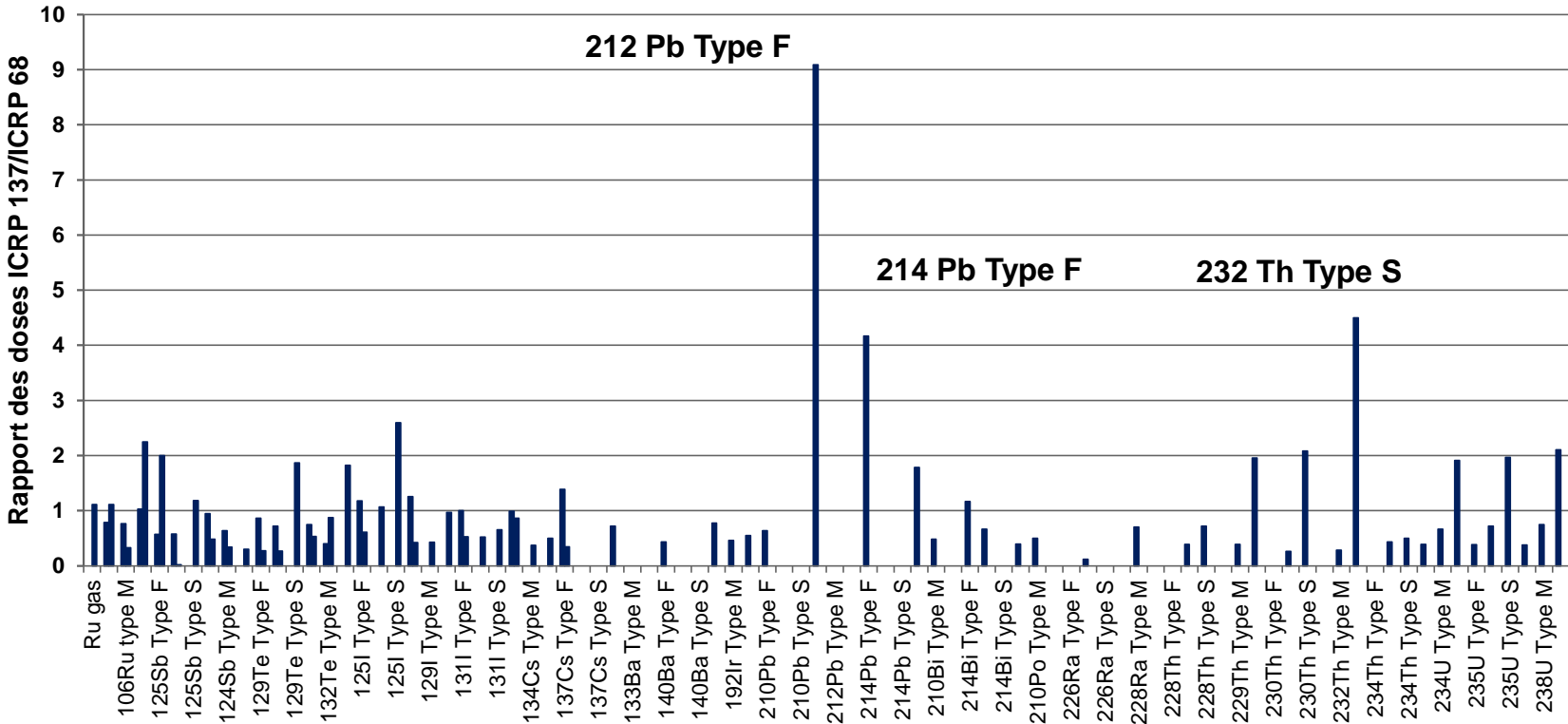
# Le résultat de ces évolutions en termes de dose

# Comparaison des coefficients de dose entre la CIPR 134 et CIPR 68

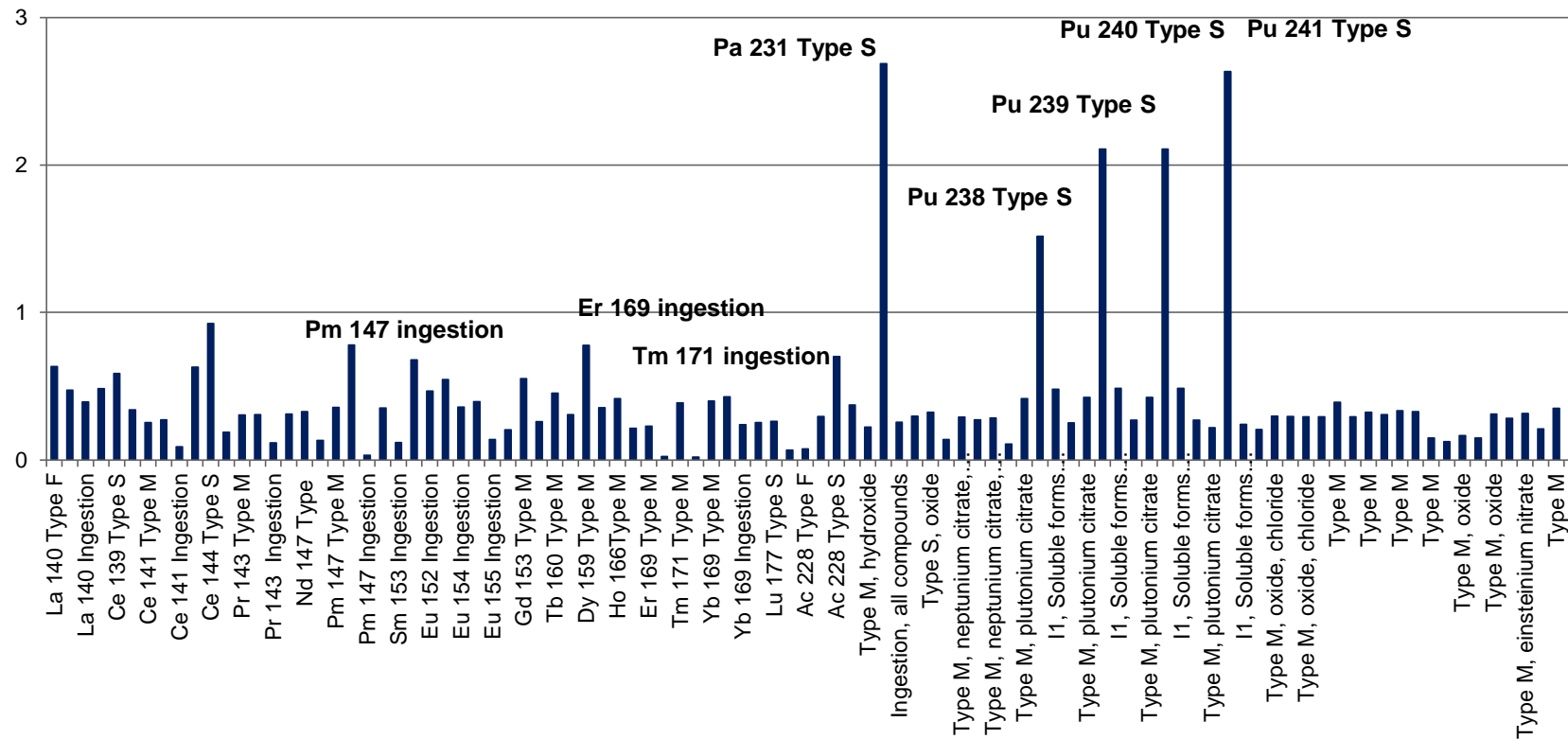




# Comparaison des coefficients de dose entre la CIPR 137 et CIPR 68



# Comparaison des coefficients de dose entre la CIPR 141 et CIPR 68



# Et maintenant ?

**Révision en cours de l'arrêté sur les coefficients de dose  
(action pouvoirs publics)**

**Poursuite du travail sur l'exposition du public**

Fondée essentiellement sur données de OIR, complétées par données selon âges (3m, 1,5,10,15, Adultes) et pour des formes chimiques environnementales

Part 1 (28 éléments) soumise à consultation publique d'ici quelques semaines

Part 2-3 (autres éléments) entre 2023 et 2025

Part 4-5 (embryon/foetus et nourrisson) entre 2026 et 2028

# Nouveaux coefficients de dose pour les travailleurs

## Conclusions

Données anciennes étaient assez robustes et ont permis de protéger correctement les travailleurs

Nouveaux coefficients de dose reposent sur modèles physiologiques et dosimétriques très réalistes

Ces coefficients restent applicables à des travailleurs de référence, avec des caractéristiques anatomiques et physiologiques de référence invariables quel que soit le sexe, l'âge ou les autres caractéristiques individuelles

Nécessité de poursuivre l'effort sur les coefficients de dose pour le public et pour le cas spécifique des radiopharmaceutiques

Pas de nouvelle révision dans un proche avenir sauf si la CIPR recommande un changement des facteurs de pondération



The logo for the International Commission on Radiological Protection (ICRP) is displayed in a bold, blue, sans-serif font. The letters are thick and blocky, with a distinctive white horizontal bar across the middle of the 'I', 'C', and 'R'. The 'I' is a simple vertical bar. The 'C' is a rounded shape with a white bar. The 'R' is a rounded shape with a white bar and a vertical stem. The 'P' is a rounded shape with a white bar. The logo is set against a white background with a blue geometric shape on the right side.

**ICRP**

[www.icrp.org](http://www.icrp.org)